

فهرست مطالب

صفحه

مقدمه.....	۳
مشخصات و اطلاعات اولیه پروژه.....	۴
نقشه توپوگرافی.....	۶
مسیریابی.....	۶
طراحی قوس های افقی و رسم پلان مسیر راه.....	۱۰
دور (بربلندی) در قوس های افقی.....	۱۵
محاسبه اضافه عرض راه (تعریض) در قوس های افقی.....	۱۵
ترسیم پروفیل طولی محور راه.....	۱۶
طراحی و ترسیم قوس های قائم (خم ها).....	۱۷
ترسیم مقاطع عرضی راه.....	۲۴
ترسیم منحنی بروکنر.....	۳۰
طراحی ابنیه فنی.....	۳۲
طراحی روسازی راه.....	۳۸

مقدمه

از آنجا که یکی از شرایط و زیر ساخت‌های اصلی توسعه اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی، نظامی و ... در هر کشوری وجود شبکه ارتباطی گسترده‌ای از راه‌های فرعی، اصلی و شاهراه‌ها می‌باشد، لذا در کشور ما با توجه به کمبود شدیدی که در زمینه وجود راه‌های ارتباطی استاندارد از لحاظ فنی احساس می‌گردد، تخصیص و صرف قسمت عظیمی از بودجه عمرانی کشور در بخش احداث راه ضرورت می‌یابد. برای رسیدن به چنین هدفی قبل از هر چیز داشتن اطلاعات کافی در امر طراحی هندسی راه و راهسازی که بر اساس سه عامل اصلی: ایمنی، راحتی و اقتصاد استوار باشد ضروری است. در جزوه پیش‌رو آموزش طراحی یک راه به صورت دستی آورده شده است. در این جزوه یک پروژه راهسازی با هدف طراحی، انجام محاسبات فنی، تهیه و ترسیم نقشه‌های اجرایی و برآورد احجام برای قطعه‌ای از یک راه اصلی است که با توجه به نقشه توپوگرافی داده شده (با مقیاس ۱:۲۰۰۰) در منطقه کوهستانی انجام خواهد شد. طراحی بر اساس آیین‌نامه طرح هندسی راه‌های ایران (نشریه شماره ۴۱۵)، آیین‌نامه روسازی آسفالتی ایران (نشریه شماره ۲۳۴) و معیارهای تعیین شده در صورت پروژه انجام شده است.

۱- مشخصات و اطلاعات اولیه پروژه

۱-۱- نوع منطقه

راه از دامنه کوه، تپه‌های بلند و دره‌های گود می‌گذرد و گاهی دارای برش‌های عمیق و پل‌های بزرگ یا خاکریزهای بلند است. خط بزرگترین شیب زمین، دارای شیب بیش از ۷ درصد است. شیب طولی راه، در موردهای متعدد و در طول‌های قابل ملاحظه، به حداکثر مجاز می‌رسد (آئین‌نامه ۴۱۵ بند ۳-۳-۳ صفحه ۲۴). در این پروژه با توجه به نقشه توپوگرافی منطقه با وجود تپه‌های بلند و دره‌های گود و شیب متوسط بیش‌تر از ۷ درصد، منطقه کوهستانی است.

۱-۲- نوع راه

راه اصلی درجه یک با یکی از عملکردهای زیر:

الف- جزئی از شبکه راه‌های ملی است.

ب- ایجاد کننده دهلیز سفرهای عبوری از کشور و داخل کشور است.

ج- ارتباط بین مراکز استان‌ها و یا مراکز استان‌ها با شهرهای بزرگ داخل استان را برقرار می‌کند.

با دو یا چند خط عبور که می‌تواند مسیرهای رفت و برگشت آن از هم جدا باشد. (آئین‌نامه ۴۱۵ بند ۲-۱-۱ صفحه ۹).

در این پروژه راه اصلی درجه یک، دو خطه (رفت و برگشت) انتخاب می‌شود.

۱-۳- عرض راه

بر اساس آئین‌نامه ۴۱۵ بند ۶-۲-۱ صفحه ۱۱۵ عرض مطلوب سواره‌رو ۷/۳۰ متر (هر خط ۳/۶۵ متر) است. و بر اساس آئین‌نامه ۴۱۵ جدول (۴-۶) صفحه ۱۲۲ برای راه اصلی درجه یک دو خطه، عرض شانه راه در هر طرف ۲/۸۵ تا ۱/۸۵ متر است که در این پروژه ۲ متر برای هر طرف انتخاب می‌شود.

۱-۴- سرعت طرح

بر اساس آئین‌نامه ۴۱۵ جدول (۴-۲) صفحه ۳۷، با توجه به نوع منطقه (کوهستانی) و نوع راه (اصلی درجه یک) سرعت طرح ۸۰ کیلومتر در ساعت انتخاب می‌شود.

۱-۵- شیب طولی

بر اساس آئین نامه ۴۱۵ جدول (۵-۲۱) صفحه ۸۹ با توجه به نوع منطقه (کوهستانی) و سرعت طرح ۸۰ کیلومتر در ساعت حداکثر شیب طولی مجاز ۶ درصد می باشد.

۱-۶- شیب عرضی سواره‌رو

بر اساس آئین نامه ۴۱۵ بند ۶-۲-۲ صفحه ۱۱۹، شیب عرضی سواره‌رو ۲ درصد انتخاب می شود.

۱-۷- شیب عرضی شانه راه

بر اساس آئین نامه ۴۱۵ بند ۶-۳-۱ صفحه ۱۲۲، شیب عرضی شانه راه ۴ درصد انتخاب می شود.

۱-۸- دور یا بر بلندی

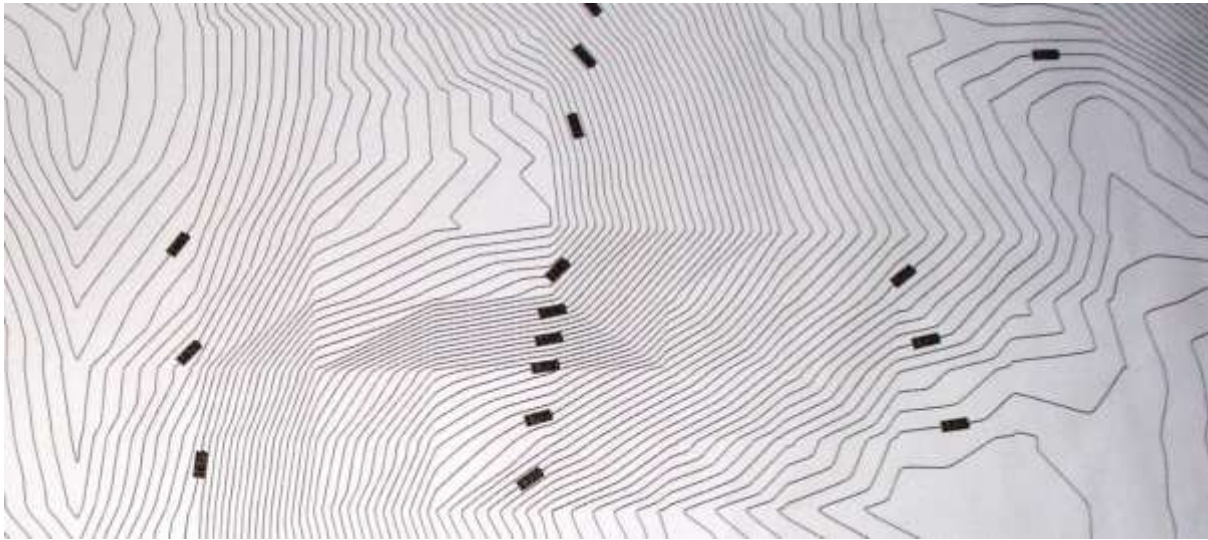
بر اساس آئین نامه ۴۱۵ بند ۵-۲-۲ صفحه ۷۰ مقدار حداکثر بر بلندی (e_{max}) برای راه اصلی ۸ درصد می باشد.

۱-۹- ضریب اصطکاک جانبی

بر اساس آئین نامه ۴۱۵ جدول (۵-۵) صفحه ۵۹ و با توجه سرعت طرح ۸۰ کیلومتر در ساعت، حداکثر ضریب اصطکاک جانبی (f_{max}) ۰/۱۴ می باشد.

۲- نقشه توپوگرافی

نقشه توپوگرافی پستی و بلندی‌های زمین را با استفاده از خطوط هم تراز (Contour) و ارتفاع نوشته شده روی هر خط تراز نشان می‌دهد. در شروع یک پروژه راهسازی نیاز به نقشه توپوگرافی منطقه مورد نظر با مقیاس ۱:۲۰۰۰ یا ۱:۵۰۰۰ می‌باشد. در این پروژه از نقشه توپوگرافی یک منطقه کوهستانی با مقیاس ۱:۲۰۰۰ که در شکل ۱-۲ نشان داده شده، استفاده شده است.



شکل ۱-۲- نقشه توپوگرافی منطقه کوهستانی با مقیاس ۱:۲۰۰۰

۳- مسیریابی

ابتدا باید نقطه مبدا (نقطه A) و مقصد (نقطه B) مسیر راه روی شیت (کاغذ) نقشه توپوگرافی توسط استاد راهنمای پروژه راهسازی تعیین شود. سپس برای تعیین مسیر بین دو نقطه مبدا و مقصد مشخص شده بر روی نقشه توپوگرافی با استفاده از روش پرگار زنی (دایره زنی یا کمان زنی) با توجه به حداکثر شیب طولی مجاز مسیر راه (در این پروژه $i_{max}=6\%$)، چندین مسیر تعیین می‌کنیم. سپس از بین آن‌ها بهترین مسیر انتخاب می‌شود. مسیرها به صورت خطوط شکسته می‌باشند که از آن‌ها به عنوان واریانت راه نیز یاد می‌شود. برای ترسیم واریانت راه به ترتیب زیر عمل می‌کنیم.

۳-۱- حداقل طول لازم جهت عبور مسیر راه از یک تراز به تراز مجاور در نقشه توپوگرافی

در این پروژه ترازهای اصلی نقشه توپوگرافی با اختلاف ارتفاع پنج متری ($\Delta h=5\text{ m}$) ترسیم شده است. بنابراین از ترازهای مجاور اصلی پنج متری برای محاسبه حداقل طول لازم جهت عبور مسیر راه از یک تراز به تراز مجاور در نقشه توپوگرافی استفاده شده است.

$$L_{\min} = \frac{\Delta h}{i_{\max}} = \frac{5}{0.06} = 83.33\text{ m}$$

$$L = L_{\min} \times \text{Scale} = 83.33 \times \frac{1}{2000} = 0.042\text{ m} = 4.2\text{ cm}$$

نکته : می توان از ترازهای با اختلاف ارتفاع کمتر مثلا یک متری یا بیشتر مثلا ده متری استفاده کرد. ولی اندازه بازشدگی پرگار برای کمان زنی با اختلاف ارتفاع پنج متری نه خیلی کوچک نه خیلی بزرگ است و متوسط است پس ترسیم کمان ها ساده تر و دقت بهتری دارد.

۳-۲- ترسیم مسیر راه

در این مرحله با روش دستی پرگار زنی به وسیله پرگار که به اندازه طول L محاسبه شده در مرحله قبل، $4/2$ سانتی متر باز شده است روی شیت توپوگرافی با مقیاس $1:2000$ با کمان زنی از نقطه مبداء (نقطه A) به ترتیب زیر عمل می کنیم.

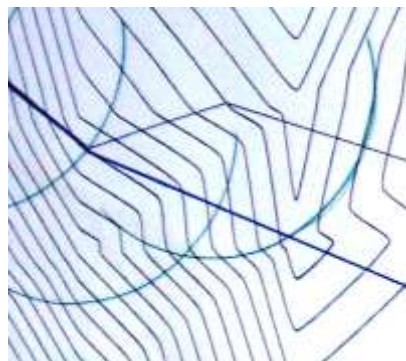
برای این کمان سه حالت می تواند پیش بیاید:

۱- کمان ترسیم شده، خط تراز مجاور را (در این پروژه اختلاف ارتفاع پنج متر) فقط در یک نقطه قطع کند که در این حالت توسط خط کش با خط مستقیم نقطه مبداء به نقطه تقاطع کمان و خط تراز مجاور وصل می کنیم (شکل ۳-۱).



شکل ۳-۱- کمان زنی حالت اول.

۲- کمان ترسیم شده، خط تراز مجاور را در دو نقطه قطع کند که در این حالت توسط خط کش با خط مستقیم نقطه مبداء را در صورتی که هر دو نقطه تقاطع کمان و خط تراز مجاور مناسب باشد و مسیر را از نقطه مقصد دور نکند به هر دو نقطه وصل می‌کنیم یا فقط به نقطه‌ای که در جهت مقصد بوده وصل می‌کنیم (شکل ۲-۳).



شکل ۲-۳- کمان زنی حالت دوم.

۳- کمان ترسیم شده، خط تراز مجاور را در هیچ نقطه‌ای قطع نکند که در این حالت توسط خط کش با خط مستقیم نقطه مبداء را در جهت نقطه مقصد (نقطه B) به خط تراز مجاور وصل می‌کنیم (شکل ۳-۳).



شکل ۳-۳- کمان زنی حالت سوم.

کمان زنی را تا جایی ادامه داده تا به نقطه مقصد برسیم. در ادامه با ترسیم خطوط بین هر دو تراز متوالی با اختلاف ارتفاع پنج متر یک سری خطوط شکسته بین مبدا و مقصد ترسیم می‌شود باید هر چند تا خطوط شکسته را با یک خط مستقیم جایگزین کنیم. به صورتی که تا جایی که ممکن است از حداکثر شیب طولی مجاز راه که در این پروژه ۶ درصد است تجاوز نماییم، در این پروژه کل خطوط شکسته را با دو خط مستقیم برای این که فقط یک قوس افقی داشته باشیم جایگزین کردیم. ممکن است با اتصال خطوط شکسته ترسیمی چندین مسیر (واریانت) تعیین شود که باید با بررسی و مقایسه واریانت‌ها در نهایت بهترین

واریانت از لحاظ اقتصادی: پیروی مناسب‌تر از خط زمین طبیعی (حجم خاکبرداری و خاکریزی کمتر)، طول مسیر کوتاه‌تر و ... ایمنی: تعداد قوس کمتر و شعاع قوس بیشتر از ۲۰۰ متر و ... انتخاب شود و در نهایت طراحی راه بر روی آن واریانت نهایی صورت می‌گیرد. در این پروژه همان‌طور که در شکل ۳-۴ نشان داده شده است دو واریانت ترسیم شده است و مسیر پایینی که با رنگ قرمز ترسیم شده است به دلیل شعاع قوس بیشتر به عنوان مسیر نهایی راه در نظر گرفته شده است.



شکل ۳-۴- واریانت‌های راه و مسیر نهایی راه.

۴- طراحی قوس‌های افقی و رسم پلان مسیر راه

در این پروژه در مسیر نهایی راه دو خط شکسته داریم که بایستی بین این دو خط شکسته از قوس مناسبی استفاده نماییم. در واقع واریانت راه در این پروژه شامل خطوط شکسته و مستقیم می‌باشد و برای اینکه مسیر ما از ایمنی و راحتی بهتری برخوردار باشد نیاز به طراحی قوس‌های افقی داریم.

به دلیل مزیت‌های زیر:

- ۱- عدم وجود شکستگی در اتصال مسیر مستقیم به قوس دایره‌ای.
- ۲- ایجاد نیروی گریز از مرکز به صورت تدریجی از مقدار صفر در شروع و خاتمه قوس تا مقدار ماکزیمم در وسط قوس.
- ۳- اعمال دور (بربلندی) در طول قوس به صورت تدریجی.
- ۴- اعمال اضافه عرض در طول قوس به صورت تدریجی.

در این پروژه قوس کلوتوئید (اسپیرال) یا اتصال تدریجی به جای قوس دایره‌ای ساده با سیستم ترکیبی کلوتوئید - دایره - کلوتوئید، طراحی و ترسیم می‌شود. و در نهایت پلان مسیر به صورت، مسیر مستقیم - کلوتوئید - دایره - کلوتوئید - مسیر مستقیم، روی واریانت نهایی راه ترسیم می‌شود.

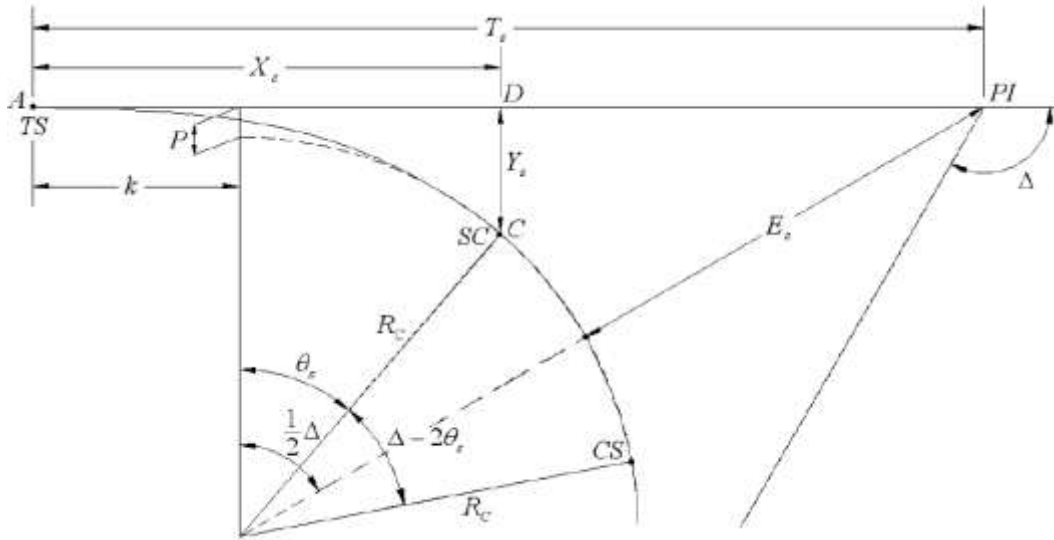
۴-۱- محاسبات طراحی قوس افقی

با توجه به آئین‌نامه ۴۱۵ جدول (۷-۵) صفحه ۶۱، حداکثر شعاع قوس‌های افقی (پیچ‌ها) در اتصال تدریجی برای سرعت طرح ۸۰ کیلومتر در ساعت برابر ۳۷۹ متر است. و شعاع حداقل از فرمول زیر محاسبه می‌شود.

$$R_{\max} = 379 \text{ m}$$

$$R_{\min} = \frac{V^2}{127.2(e_{\max} + f_{\max})} = \frac{80^2}{127.2(0.08 + 0.14)} = 228.70 \text{ m}$$

با توجه به توصیه آئین‌نامه ۴۱۵ بند ۵-۲-۱ صفحه ۵۸، بهتر است از به کارگیری شعاع حداقل خودداری شود مگر اینکه محدودیت‌های شدیدی در انتخاب شعاع بزرگتر وجود داشته باشد. در این پروژه شعاع قسمت دایره‌ای قوس افقی را ۲۴۰ متر در نظر می‌گیریم و برای محاسبه جزئیات قوس افقی کلوتوئید نشان داده شده در شکل ۴-۱ با استفاده از فرمول‌های مربوطه به ترتیب زیر عمل می‌کنیم.



شکل ۴-۱- جزئیات قوس افقی کلوئوئید (اسپیرال).

$$R_c = 240 \text{ m} \times \text{Scale} = 240 \times \frac{1}{2000} = 0.12 \text{ m} = 12 \text{ cm}$$

$$\begin{cases} L'_s = \frac{0.036V^3}{R_c} = \frac{0.036(80)^3}{240} = 76.8 \\ L''_s = 13.65V_{\max} = 13.65 \times 80 \times 0.08 = 87.4 \\ L'''_s = \sqrt{12R_c} = \sqrt{12 \times 240} = 53.67 \end{cases} \Rightarrow L_s = \max\{L'_s, L''_s, L'''_s\}$$

$$L_s = \max\{L'_s, L''_s, L'''_s\} = \max\{76.8, 87.4, 53.67\} = 87.4 \text{ m} \times \frac{1}{2000} = 0.0437 \text{ m} = 4.37 \text{ cm}$$

$$\theta_s = \frac{L_s}{2R_c} = \frac{87.4}{2 \times 240} = 0.1821 \text{ Rad} = 10^\circ 26' 1''$$

$$x_s = L_s \left(1 - \frac{L_s^2}{40R_c^2}\right) = 87.4 \left(1 - \frac{87.4^2}{40 \times 240^2}\right) = 87.11 \text{ m} \times \frac{1}{2000} = 0.0436 \text{ m} = 4.36 \text{ cm}$$

$$y_s = \frac{L_s^2}{6R_c} \left(1 - \frac{L_s^2}{56R_c^2}\right) = \frac{87.4^2}{6 \times 240} \left(1 - \frac{87.4^2}{56 \times 240^2}\right) = 5.29 \text{ m} \times \frac{1}{2000} = 0.0027 \text{ m} = 0.27 \text{ cm}$$

$$P = \frac{L_s^2}{24R_c} = \frac{87.4^2}{24 \times 240} = 1.33 \text{ m} \times \frac{1}{2000} = 0.0007 \text{ m} = 0.07 \text{ cm}$$

$$K = x_s - R_c \sin \theta_s = 87.11 - 240 \times \sin(10^\circ 26' 1'') = 43.65 \text{ m} \times \frac{1}{2000} = 0.022 \text{ m} = 2.2 \text{ cm}$$

$$T_s = (R_c + P) \tan\left(\frac{\Delta}{2}\right) + K = (240 + 1.33) \tan\left(\frac{42^\circ}{2}\right) + 43.65 = 136.29 \text{ m} \times \frac{1}{2000} = 0.068 \text{ m} = 6.8 \text{ cm}$$

Δ : زاویه راس (سومه) قوس بر روی نقشه توپوگرافی توسط نقاله ۴۲ درجه اندازه گیری شده است.

۴-۲- ترسیم پلان مسیر راه همراه با قوس های افقی آن

در این پروژه به علت منطقه کوهستانی بودن راه، طبق آیین نامه ۴۱۵ فواصل ایستگاهها یا مقاطع عرضی یا پیکهها، ۲۰ متر انتخاب می شود و همچنین در طول قوس افقی راه فاصله ایستگاهها باید $\frac{1}{10}$ تا $\frac{1}{20}$ شعاع قوس انتخاب شود که در این پروژه چون شعاع قوس ۲۴۰ متر است فاصله ایستگاهها همان ۲۰ متر انتخاب می شود.

$$\frac{240}{20} = 12 \text{ m} < 20 \text{ m} < \frac{240}{10} = 24 \text{ m}$$

فاصله ۲۰ متری ایستگاهها بر روی شیت نقشه پلان راه با مقیاس ۱:۲۰۰۰ برابر یک سانتی متر خواهد بود. بنابراین روی مسیر نهایی راه محل ایستگاهها را توسط خط کش در فواصل یک سانتی متری مشخص و شماره گذاری می کنیم. و همچنین عرض مسیر راه را به اندازه ۲۰ متر (۱ سانتی متر روی شیت نقشه پلان راه) ترسیم می کنیم. سپس با توجه به داده های بند ۴-۱ که نقطه ابتدای اسپیرال (T_s) و نقطه انتهای اسپیرال و نقطه ابتدای دایره (x_s, y_s) را داریم می توانیم قوس های خود را ترسیم کنیم. برای رسم دقیق تر قسمت انحنا اسپیرال از روش مختصات (نقطه یابی) استفاده می کنیم. برای این کار طول قوس اسپیرال ($L_s = 87.4 \text{ m}$) را به طول های ۱۰ متری (L_i) تقسیم کرده و مختصات هر طول جزئی را از نقطه ابتدایی قوس اسپیرال (T_s) توسط فرمول های زیر محاسبه می کنیم، سپس به پیاده سازی نقاط روی محور مسیر راه در نقشه پلان راه خواهیم پرداخت.

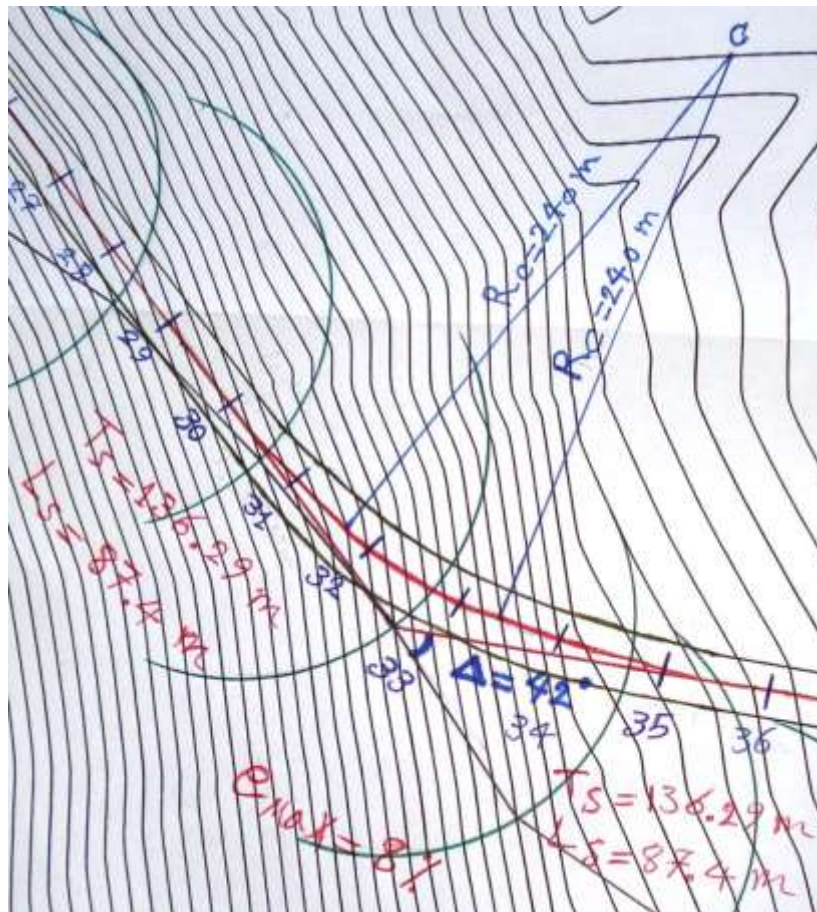
$$x_i = L_i \left(1 - \frac{L_i^2}{40R_c^2} \right)$$

$$y_i = \frac{L_i^2}{6R_c} \left(1 - \frac{L_i^2}{56R_c^2} \right)$$

مختصات نقاط مورد نیاز جهت ترسیم دستی قوس کلوتوئید (اسپیرال) روی پلان مسیر راه در جدول ۴-۱ آورده شده است. در شکل ۴-۲ جزئیات قوس افقی روی نقشه پلان مسیر راه نشان داده شده است. در شکل ۴-۳ پلان مسیر راه همراه با قوس افقی ترسیم شده روی نقشه توپوگرافی، نشان داده شده است.

y_i (cm)	x_i (cm)	y_i (m)	x_i (m)	R_c (m)	L_i (m)
0.0	0.5	0.07	10.00	240	10
0.0	1.0	0.28	20.00	240	20
0.0	1.5	0.62	29.99	240	30
0.1	2.0	1.11	39.97	240	40
0.1	2.5	1.73	49.95	240	50
0.1	3.0	2.50	59.91	240	60
0.2	3.5	3.40	69.85	240	70
0.2	4.0	4.44	79.78	240	80
0.3	4.4	5.29	87.11	240	87.4

جدول ۴-۱- مختصات نقاط جهت ترسیم دستی قوس کلوئید روی پلان مسیر راه.



شکل ۴-۲- جزئیات قوس افقی روی نقشه پلان مسیر راه.

۵- دور (برابندی) در قوس های افقی

طبق آیین نامه ۴۱۵ بند ۵-۲-۲-۲ صفحه ۷۱، از نظر تامین ایمنی خودرو و همچنین حفظ زیبایی مسیر و اجتناب از واکنش های آنی در مسیر، تغییرهای لازم در شیب عرضی راه، بهتر است به صورت تدریجی و ملایم و در طولی از راه، قبل و بعد از قوس های افقی انجام شود. این طول (L_r)، طول تامین برابندی نامیده می شود. در صورتی که برای اتصال بخش مستقیم مسیر به قوس افقی، از قوس اتصال تدریجی (کلوتوئید) استفاده شود، تغییر شیب عرضی از شیب صفر به شیب برابندی در طول قوس اتصال تدریجی اعمال شود. بنابراین حداقل طول قوس اتصال تدریجی (L_s)، برابر با طول شیب برابندی (L_r)، خواهد بود. چون در این پروژه از قوس اتصال تدریجی (کلوتوئید) استفاده شده است، حداقل طول قوس اتصال تدریجی را برابر با طول شیب برابندی در نظر می گیریم. در این پروژه مقدار حداکثر دور ۸ درصد انتخاب شده است، بنابراین شیب را در انتهای قوس اتصال تدریجی به ۸ درصد دور می رسانیم و در نقشه مقاطع عرضی ایستگاه های داخل قوس افقی برابندی یا دور نشان داده شده است.

$$L_s = L_r = 87.4 \text{ m}$$

۶- محاسبه اضافه عرض راه (تعریض) در قوس های افقی

تعریض راه در قوس ها به سه دلیل انجام می شود:

- ۱- شعاع مسیر طی شده به وسیله چرخ های عقب وسایل نقلیه در قوس ها کوچکتر از شعاع مسیر طی شده به وسیله چرخ های جلو می باشد.
- ۲- معمولاً در قوس ها رانندگان کمتر می توانند از مسیر خود پیروی نمایند.
- ۳- از نظر روانی برای سریع تر و مطمئن تر حرکت کردن در قوس ها باید در قوس ها تعریض انجام گیرد.

طبق آیین نامه ۴۱۵ بند ۵-۲-۱-۸ صفحه ۶۳، برای تست اولیه تعریض در قوس های با شعاع کمتر از ۲۵۰ متر ($R_c = 240 \text{ m}$) از رابطه زیر استفاده می شود و مقدار حداقل تعریض برابر ۰/۶ متر تعیین شده است. در صورتی که مقدار تعریض محاسباتی از فرمول از ۰/۶ متر کمتر شود به علت تاثیر ناچیز آن اعمال نمی شود. ولی اگر بزرگتر یا مساوی ۰/۶ متر شد باید مقدار دقیق آن از فرمول های آیین نامه ۴۱۵ محاسبه و در قوس افقی اعمال شود.

$$F = \frac{50}{R_c} = \frac{50}{240} = 0.21 \text{ m} < 0.6 \text{ m}$$

در این پروژه چون مقدار تعریض محاسباتی ($F = 0.21 \text{ m}$) کمتر از 0.6 متر شد اثر آن ناچیز بوده و از آن صرف نظر می‌شود.

۷- ترسیم پروفیل طولی محور راه

پروفیل طولی محور راه شامل سه قسمت خط زمین طبیعی، خط پروژه و جدول مشخصات است.

- ۱- خط زمین طبیعی، وضعیت ارتفاعی زمین طبیعی محور راه را نشان می‌دهد.
 - ۲- خط پروژه، وضعیت ارتفاعی سطح تمام شده محور راه (بستر روسازی) پس از ساخت را نشان می‌دهد.
 - ۳- جدول مشخصات شامل : شماره ایستگاه‌ها (مقاطع عرضی)، فاصله ایستگاه‌ها از مبدا، ارتفاع خط زمین طبیعی، ارتفاع خط پروژه، شیب‌ها و قوس‌های قائم، خطوط مستقیم و قوس‌های افقی، فواصل 100 متری (هکتومتر)، کیلومترژ راه، تراز نسبی لبه‌های داخلی و خارجی راه (دور) می‌باشد.
- برای ترسیم دستی پروفیل طولی محور راه به ترتیب مراحل زیر عمل می‌کنیم.
- ۱- ایستگاه‌گذاری روی محور مسیر در نقشه پلان راه در فواصل 20 متری (یک سانتی روی شیت توپوگرافی). مطابق شکل ۴-۲.
 - ۲- تعیین کد ارتفاعی (در صورت نیاز با درون‌یابی چشمی بین کدهای ارتفاعی خطوط تراز توپوگرافی پلان مسیر راه) و طول از مبدا هر ایستگاه از روی نقشه پلان راه و در نهایت تشکیل جدول ۷-۱.
 - ۳- رسم دو محور عمود بر هم در کاغذ میلی‌متری A_1 به طوری که محور افقی به اندازه طول افقی کل مسیر راه روی پلان راه با مقیاس $1:2000$ و محور قائم به اندازه کمی بیشتر از اختلاف ارتفاع بالاترین و پایین‌ترین کد ارتفاعی زمین طبیعی با مقیاس $1:200$.
 - ۴- انتخاب یک سطح سنجش روی محور طولی راه (پایین‌ترین کد ارتفاعی زمین طبیعی محور راه).
 - ۵- ترسیم نقاط ایستگاهی در دستگاه مختصات فوق و ترسیم خط زمین طبیعی.
 - ۶- ترسیم خط پروژه.
 - ۷- تکمیل جدول مشخصات.

۷-۱- ترسیم خط زمین طبیعی

در جدول ۷-۱ شماره، فاصله از مبدا و ارتفاع هر ایستگاه برای ترسیم خط زمین طبیعی آورده شده است. که پایین‌ترین نقطه ۱۶۷۰ و بالاترین نقطه ۱۷۲۰ متر از سطح دریا ارتفاع دارد. سطح سنجش را نقطه ۱۶۶۰ متر انتخاب کرده و محور قائم را دو متری (یک سانتی‌متر روی کاغذ میلی‌متری با مقیاس ۱:۲۰۰) و محور افقی هم ۲۰ متری (یک سانتی‌متر روی کاغذ میلی‌متری با مقیاس ۱:۲۰۰۰) تقسیم‌بندی می‌کنیم. در نهایت روی کاغذ میلی‌متری خط زمین طبیعی با رنگ قرمز ترسیم شده است.

شماره ایستگاه	ارتفاع زمین	شماره ایستگاه	ارتفاع زمین	شماره ایستگاه	ارتفاع زمین
A(0)	1670.00	21(420)	1701.70	42(840)	1679.90
1(20)	1671.50	22(440)	1700.20	43(860)	1682.80
2(40)	1674.50	23(460)	1699.20	44(880)	1686.50
3(60)	1677.40	24(480)	1699.10	45(900)	1691.20
4(80)	1681.70	25(500)	1699.80	46(920)	1696.00
5(100)	1687.00	26(520)	1700.30	47(940)	1699.40
6(120)	1692.60	27(540)	1699.90	48(960)	1700.50
7(140)	1698.20	28(560)	1698.70	49(980)	1702.30
8(160)	1703.60	29(580)	1696.90	50(1+000)	1703.90
9(180)	1707.90	30(600)	1694.50	51(1+020)	1704.70
10(200)	1712.00	31(620)	1691.80	52(1+040)	1705.50
11(220)	1713.80	32(640)	1688.50	53(1+060)	1706.40
12(240)	1714.60	33(660)	1683.80	54(1+080)	1707.60
13(260)	1715.30	34(680)	1679.60	55(1+100)	1708.70
14(280)	1715.70	35(700)	1677.90	56(1+120)	1709.80
15(300)	1715.30	36(720)	1675.90	57(1+140)	1710.90
16(320)	1714.00	37(740)	1673.50	58(1+160)	1712.10
17(340)	1711.30	38(760)	1673.90	59(1+180)	1713.30
18(360)	1708.60	39(780)	1674.70	60(1+200)	1715.30
19(380)	1706.10	40(800)	1675.60	61(1+220)	1718.00
20(400)	1703.50	41(820)	1677.40	B(1+235)	1720.00

جدول ۷-۱- مختصات نقاط جهت ترسیم خط زمین طبیعی در پروفیل طولی محور راه.

۷-۲- ترسیم خط پروژه

در ترسیم خط پروژه باید نکات زیر مد نظر قرار گیرد:

- ۱- شیب‌های طولی قطعات خط پروژه نباید از حد مجاز تجاوز نماید. طبق آیین‌نامه ۴۱۵ و مشخصات اولیه این پروژه، شیب مجاز حداقل ۰/۵ درصد و حداکثر ۶ درصد می‌باشد.
- ۲- در زمین‌های مسطح حداقل شیب طولی رعایت شود (فقط روی پل‌ها شیب طولی صفر است).
- ۳- خط پروژه از نقاط اجباری پروژه (نقاط مبدا A و مقصد B) بگذرد.
- ۴- برای ایجاد دید بهتر سعی شود قوس قائم در محدوده قوس افقی قرار گیرد و بر آن منطبق شود.
- ۵- قوس‌های قائم روی قوس‌های کلوئوئید قرار نگیرد (ولی قوس‌های قائم روی قوس‌های دایره‌ای ساده می‌تواند قرار گیرد).
- ۶- بین خاکبرداری و خاکریزی تا حد امکان تعادل برقرار باشد.

در جدول ۷-۲ مختصات نقاط خط پروژه جهت ترسیم آن آورده شده است که شیب طولی قطعه‌های خط پروژه در محدوده مجاز قرار دارد. خط پروژه بر روی پروفیل طولی محور راه در کاغذ میلی‌متری با رنگ آبی ترسیم شده است.

نقاط	طول (m)	ارتفاع (m)	شیب طولی (%)
A	0+000	1680.00	5.88
C	0+400	1703.50	
C	0+400	1703.50	-2.46
D	0+900	1691.20	
D	0+900	1691.20	5.60
B	1+235	1710.00	

جدول ۷-۲- مختصات نقاط جهت ترسیم خط پروژه در پروفیل طولی محور راه.

۸- طراحی و ترسیم قوس‌های قائم

در پروفیل طولی برای خطوط شکسته که به عنوان خط پروژه ایجاد شده‌اند، باید قوس قائم مابین هر دو خط شکسته طراحی و ترسیم کنیم. در واقع قوس‌های قائم قوس‌هایی هستند که تقاطع دو شیب قائم در مسیر راه را به طور یکنواخت و صاف، بدون تغییر حرکت عمودی به هم وصل می‌کند. بر اساس آیین‌نامه ۴۱۵ در مراحلی که جمع جبری شیب‌های طرفین تقاطع کمتر از $0/5$ درصد باشد وجود قوس قائم ضروری نیست. در حالت کلی دو نوع قوس قائم، محدب (گنبدی) و مقعر (کاسه‌ای) وجود دارد که در این پروژه دو قوس قائم داریم که باید طراحی و ترسیم شوند. به طور کلی طول افقی قوس‌های قائم باید به اندازه‌ای باشد که حداقل فاصله دید برای راننده وسیله نقلیه فراهم شود. قوس قائم کاسه‌ای (مقعر) در روز به علت وجود روشنایی کافی، دید راننده را محدود نمی‌کند. اما در تاریکی، فاصله‌ای که توسط نور چراغ‌های وسایل نقلیه در این قوس قائم روشن می‌شود محدود است. حداقل طول قوس قائم از رابطه زیر قابل محاسبه است.

$$L \geq KA$$

L: طول افقی قوس قائم (متر).

K: میزان انحنای قائم، تابع فاصله دید (یا سرعت طرح) و وضعیت روشنایی راه است که از جدول (۵-۲۵) صفحه ۹۷ و جدول (۵-۲۷) صفحه ۹۸ آیین‌نامه ۴۱۵ تعیین می‌شود. در قوس محدب برای سرعت طرح ۸۰ کیلومتر در ساعت طبق جدول (۵-۲۵)، $k=26 \text{ m}$ و در قوس مقعر برای سرعت طرح ۸۰ کیلومتر در ساعت طبق جدول (۵-۲۷)، $k=30 \text{ m}$ می‌باشد.

A: قدر مطلق تفاضل جبری دو شیب طرفین خطوط شکسته خط پروژه (درصد).

در این پروژه قوس اول محدب و قوس دوم مقعر است.

۸-۱- طول افقی قوس قائم محدب

$$L \geq KA = 26 \times |-2.46 - 5.88| = 26 \times 8.34 = 217 \text{ m}$$

که $L=240 \text{ m}$ انتخاب می‌شود.

۸-۲- طول افقی قوس قائم مقعر

$$L \geq KA = 30 \times |5.60 - (-2.46)| = 30 \times 8.06 = 242 \text{ m}$$

که $L=280 \text{ m}$ انتخاب می‌شود.

و برای به دست آوردن اختلاف ارتفاع ایستگاه‌ها روی سهمی قوس قائم و مماس بر قوس از رابطه زیر استفاده می‌کنیم.

$$y = \frac{A}{200L} x^2$$

y : اختلاف ارتفاع ایستگاه‌ها روی سهمی قوس قائم و مماس بر قوس (متر).

x : فاصله از مبدا یا راس قوس قائم (متر).

A : قدر مطلق تفاضل جبری دو شیب طرفین خطوط شکسته خط پروژه (درصد).

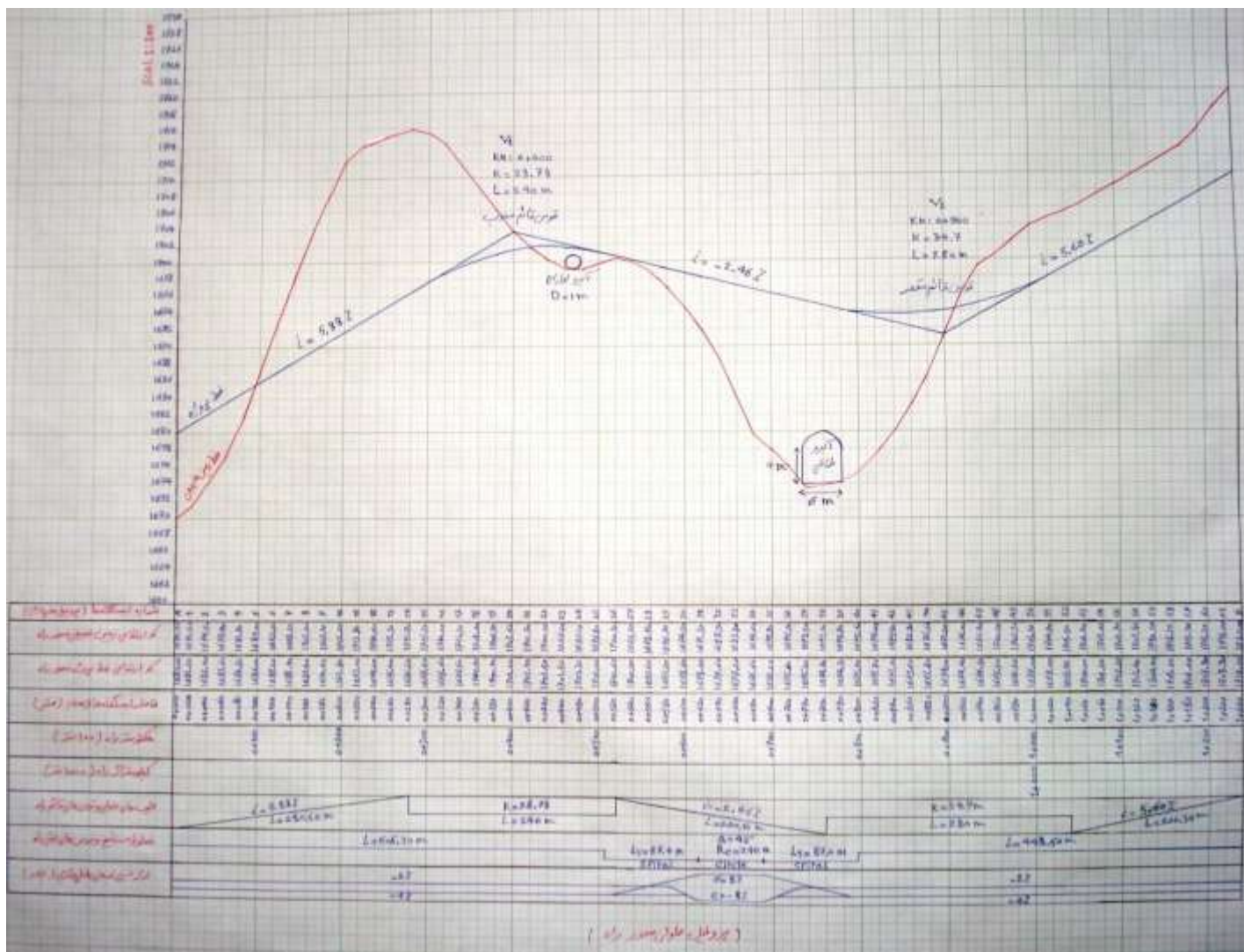
L : طول افقی قوس قائم (متر).

مختصات نقاط جهت ترسیم قوس‌های قائم روی پروفیل طولی محور راه در جدول ۸-۱ آورده شده است. قابل ذکر است که برای محاسبه ارتفاع نقاط روی قوس قائم باید اختلاف ارتفاع ایستگاه‌ها روی سهمی قوس قائم و مماس بر قوس (y) از ارتفاع نقاط روی مماس قوس در قوس‌های محدب کم شده ولی در قوس‌های مقعر این دو مقدار جمع می‌شود.

قوس قائم محدب ($L=240\text{ m}$ و $A=8.34$)				
شماره ایستگاه	فاصله از مبدا x(m)	ارتفاع روی مماس قوس (m)	اختلاف ارتفاع مماس و قوس y(m)	ارتفاع روی قوس (m)
14	0	1696.50	0.00	1696.5
15	20	1697.70	0.07	1697.6
16	40	1698.90	0.28	1698.6
17	60	1700.10	0.63	1699.5
18	80	1701.30	1.11	1700.2
19	100	1702.40	1.74	1700.7
20	120	1703.50	2.50	1701.0
21	100	1703.10	1.74	1701.4
22	80	1702.60	1.11	1701.5
23	60	1702.10	0.63	1701.5
24	40	1701.60	0.28	1701.3
25	20	1701.10	0.07	1701.0
26	0	1700.60	0.00	1700.6
قوس قائم مقعر ($L=280\text{ m}$ و $A=8.06$)				
شماره ایستگاه	فاصله از مبدا x(m)	ارتفاع روی مماس قوس (m)	اختلاف ارتفاع مماس و قوس y(m)	ارتفاع روی قوس (m)
38	0	1694.70	0.00	1694.7
39	20	1694.20	0.06	1694.3
40	40	1693.70	0.23	1693.9
41	60	1693.20	0.52	1693.7
42	80	1692.70	0.92	1693.6
43	100	1692.20	1.44	1693.6
44	120	1691.70	2.07	1693.8
45	140	1691.20	2.82	1694.0
46	120	1692.30	2.07	1694.4
47	100	1693.40	1.44	1694.8
48	80	1694.60	0.92	1695.5
49	60	1695.70	0.52	1696.2
50	40	1696.80	0.23	1697.0
51	20	1697.90	0.06	1698.0
52	0	1699.10	0.00	1699.1

جدول ۸-۱- مختصات نقاط جهت ترسیم قوس‌های قائم در پروفیل طولی محور راه.

در نهایت پروفیل طولی محور راه به همراه قوس‌های قائم آن مطابق شکل ۸-۱ روی کاغذ میلی‌متری A₁ ترسیم شده است.



شکل ۸-۱- پروفیل طولی محور راه.

۹- ترسیم مقاطع عرضی راه

پروفیل‌ها یا مقاطع عرضی راه عبارت است از مقطع عرضی عمود بر محور راه، که در آن خط زمین طبیعی، خط پروژه، محور مرکزی راه (Center Line) عرض و شیب سواره‌رو، عرض و شیب شانه راه، شیروانی خاکبرداری و خاکریزی و شیب آن‌ها، جوی آب (قنو) و بریلندی در قوس‌ها نشان داده می‌شود.

فرضیات مقاطع عرضی مطابق فرضیات اولیه پروژه، شامل موارد زیر می‌باشد:

- ۱- مقیاس مقاطع عرضی ۱:۵۰ با ترسیم عرض کل ۲۰ متر از مسیر راه می‌باشد.
- ۲- عرض کل سواره‌رو ۷/۳۰ متر (هر خط ۳/۶۵ متر) و شیب آن ۲ درصد می‌باشد.
- ۳- عرض کل شانه ۴ متر (هر طرف ۲ متر) و شیب آن ۴ درصد می‌باشد.
- ۴- شیروانی خاکریزی در زمین‌های معمولی (خاک‌های شن و ماسه‌دار) داری شیب ۲:۳ (۲ قائم و ۳ افقی) و خاکبرداری در زمین‌های خاکی و ریزشی داری شیب ۱:۱ می‌باشد.
- ۵- ارتفاع خاکبرداری بیش از ۶ متر به صورت پلکانی (برم‌بندی) با عرض هر پله حداقل ۳ متر می‌باشد.
- ۶- جوی آب (قنو) مثلثی شکل با عرض سطح ۰/۷۵ متر و عمق ۰/۳ متر می‌باشد.
- ۷- فاصله شروع شیروانی خاکبرداری از لبه قنو ۱ متر می‌باشد.
- ۸- حداکثر دور یا بریلندی در قوس‌ها ۸ درصد می‌باشد.

قبل از ترسیم مقاطع عرضی راه باید از روی جدول مشخصات پروفیل طولی محور راه، مختصات نقاط در هر ایستگاه شامل: شماره و فاصله ایستگاه‌ها از مبدا، کد ارتفاعی زمین طبیعی و کد ارتفاعی خط پروژه محور راه استخراج شده و همچنین از روی نقشه پلان مسیر راه در هر ایستگاه باید ارتفاع زمین طرف چپ و راست انتهایی عرض راه استخراج شده و جدول ۹-۱ تشکیل شود.

در جدول ۹-۱ مختصات نقاط جهت ترسیم مقاطع عرضی راه آورده شده است.

مقاطع عرضی راه به صورت چهار تیپ مقطع عرضی در ایستگاه‌های مختلف روی کاغذ میلیمتری A_3 با مقیاس ۱:۵۰ ترسیم شده است. این مقاطع شامل موارد زیر می‌باشد.

تیپ ۱: مقاطع عرضی دو طرف خاکریزی (شکل ۹-۱).

تیپ ۲: مقاطع عرضی دو طرف خاکبرداری (شکل ۹-۲).

تیپ ۳: مقاطع عرضی یک طرف خاکبرداری یک طرف خاکریزی (شکل ۹-۳).

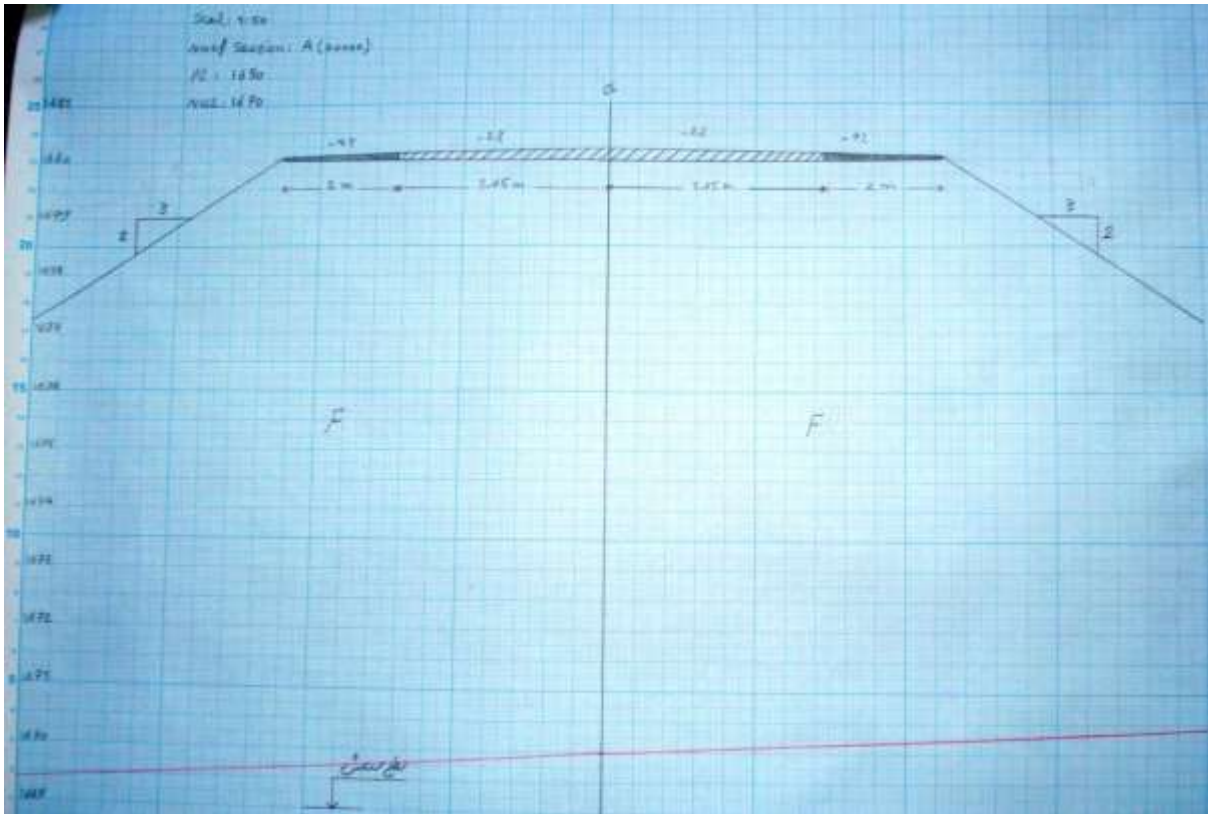
تیپ ۴: مقاطع عرضی داخل قوس افقی (شکل ۹-۴).

نکته : دانشجویان می‌توانند کلیه مقاطع عرضی پروژه خود را مطابق فرمت نقشه‌های مقاطع عرضی ارائه شده در این پروژه، با مقیاس ۱:۱۰۰ روی کاغذهای میلی‌متری A₄ ترسیم کنند که بتوانند مساحت‌های خاکبرداری و خاکریزی در هر مقطع عرضی را به راحتی محاسبه کرده و در تهیه جدول عملیات خاکی و ترسیم منحنی بروکنر استفاده کنند.

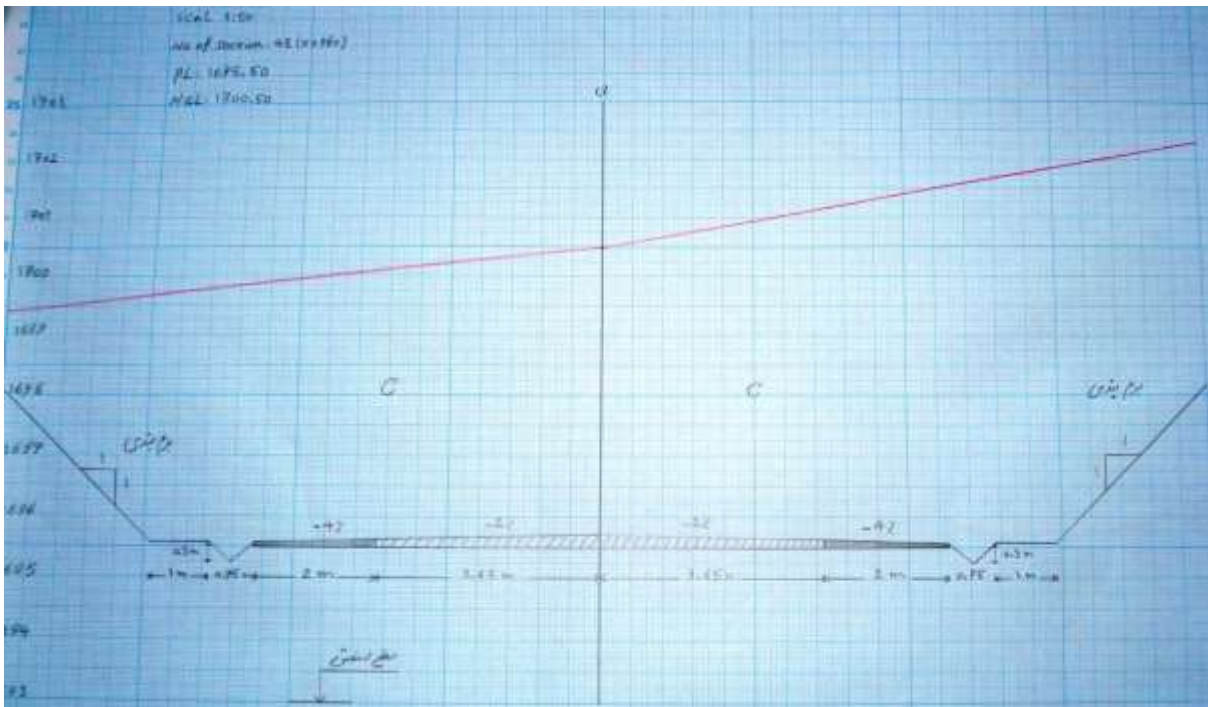
شماره ایستگاه (کیلومتر از)	ارتفاع خط پروژه محور راه	ارتفاع خط زمین محور راه	ارتفاع نقطه انتهایی زمین طرف چپ محور راه	ارتفاع نقطه انتهایی زمین طرف راست محور راه
A(0)	1680.00	1670.00	1668.60	1670.80
1(20)	1681.20	1671.50	1670.60	1672.40
2(40)	1682.40	1674.50	1673.40	1675.20
3(60)	1683.60	1677.40	1676.90	1678.10
4(80)	1684.80	1681.70	1682.30	1682.40
5(100)	1686.00	1687.00	1687.70	1686.30
6(120)	1687.20	1692.60	1693.90	1691.30
7(140)	1688.40	1698.20	1699.50	1696.80
8(160)	1689.40	1703.60	1705.20	1701.40
9(180)	1690.60	1707.90	1709.90	1705.60
10(200)	1691.80	1712.00	1711.60	1709.50
11(220)	1693.00	1713.80	1713.10	1712.90
12(240)	1694.20	1714.60	1714.10	1715.10
13(260)	1695.40	1715.30	1714.70	1716.00
14(280)	1696.50	1715.70	1715.00	1716.40
15(300)	1697.60	1715.30	1713.10	1716.00
16(320)	1698.60	1714.00	1710.60	1715.50
17(340)	1699.50	1711.30	1707.90	1714.70
18(360)	1700.20	1708.60	1705.20	1712.20
19(380)	1700.70	1706.10	1702.60	1709.70
20(400)	1701.00	1703.50	1699.80	1707.10
21(420)	1701.40	1701.70	1697.10	1705.90
22(440)	1701.50	1700.20	1695.50	1704.80
23(460)	1701.50	1699.20	1694.70	1703.70
24(480)	1701.30	1699.10	1694.40	1703.80
25(500)	1701.00	1699.80	1694.70	1703.70
26(520)	1700.60	1700.30	1694.40	1705.00
27(540)	1700.20	1699.90	1694.20	1705.90
28(560)	1699.60	1698.70	1692.90	1704.70
29(580)	1699.20	1696.90	1691.20	1702.60
30(600)	1698.60	1694.50	1689.80	1699.90
31(620)	1698.20	1691.80	1687.00	1696.80
32(640)	1697.60	1688.50	1684.10	1692.60
33(660)	1697.20	1683.80	1680.10	1687.60

ارتفاع نقطه انتهایی زمین طرف راست محور راه	ارتفاع نقطه انتهایی زمین طرف چپ محور راه	ارتفاع خط زمین محور راه	ارتفاع خط پروژه محور راه	شماره ایستگاه (کیلومترژ)
1682.40	1677.60	1679.60	1696.60	34(680)
1679.60	1676.10	1677.90	1696.20	35(700)
1677.10	1674.40	1675.90	1695.60	36(720)
1674.60	1673.00	1673.50	1695.20	37(740)
1674.50	1673.50	1673.90	1694.70	38(760)
1675.30	1674.20	1674.70	1694.30	39(780)
1676.20	1675.00	1675.60	1693.90	40(800)
1679.50	1677.10	1677.40	1693.70	41(820)
1684.10	1679.50	1679.90	1693.60	42(840)
1687.40	1681.80	1682.80	1693.60	43(860)
1690.80	1685.50	1686.50	1693.80	44(880)
1695.20	1689.80	1691.20	1694.00	45(900)
1699.50	1694.00	1696.00	1694.40	46(920)
1703.10	1696.70	1699.40	1694.80	47(940)
1704.20	1698.40	1700.50	1695.50	48(960)
1705.30	1700.20	1702.30	1696.20	49(980)
1706.10	1701.70	1703.90	1697.00	50(1+000)
1706.80	1702.60	1704.70	1698.00	51(1+020)
1707.60	1703.50	1705.50	1699.10	52(1+040)
1708.40	1704.60	1706.40	1700.00	53(1+060)
1709.50	1705.70	1707.60	1701.20	54(1+080)
1710.70	1707.00	1708.70	1702.20	55(1+100)
1711.80	1708.20	1709.80	1703.40	56(1+120)
1712.90	1709.30	1710.90	1704.40	57(1+140)
1714.10	1710.60	1712.10	1705.60	58(1+160)
1715.20	1712.30	1713.30	1706.60	59(1+180)
1717.20	1714.90	1715.30	1707.80	60(1+200)
1719.20	1717.60	1718.00	1708.80	61(1+220)
1720.60	1719.70	1720.00	1710.00	B(1+235)

جدول ۹-۱- مختصات نقاط جهت ترسیم مقاطع عرضی راه.



شکل ۹-۱- مقطع عرضی دو طرف خاکریزی.



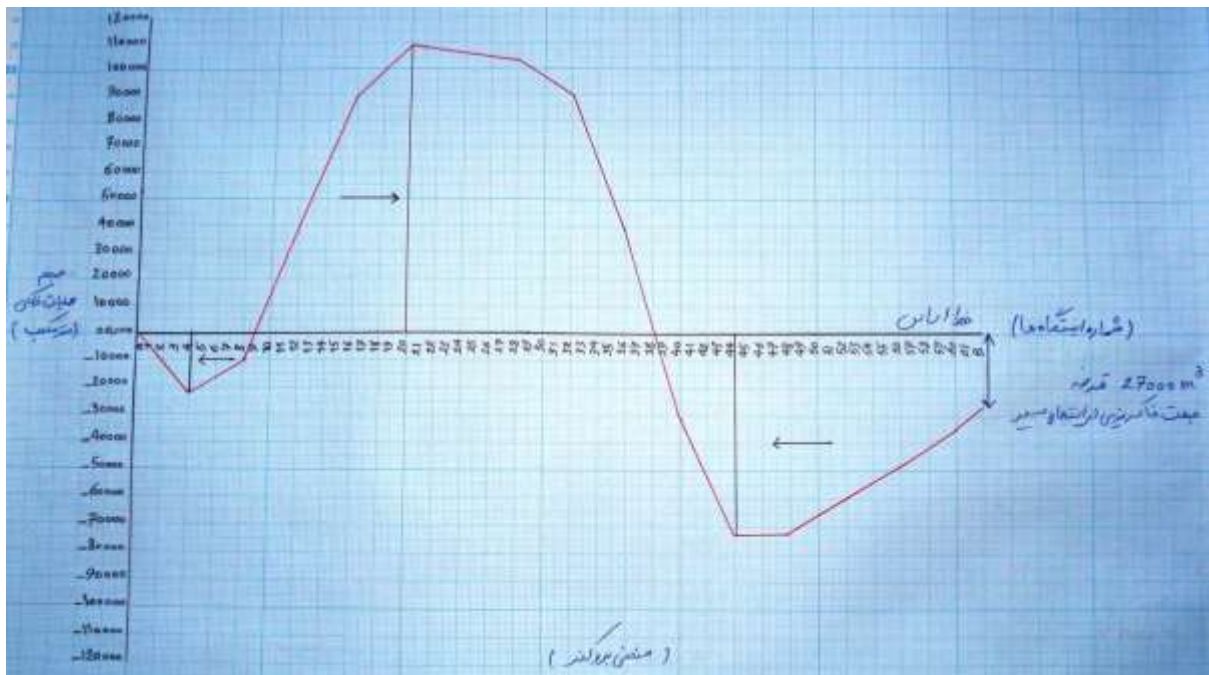
شکل ۹-۲- مقطع عرضی دو طرف خاکبرداری.

۱۰- منحنی بروکنر

از نظر اقتصادی باید خط پروژه طوری طراحی شود که تمام مواد حاصل از خاکبرداری تا حد ممکن و در صورتی که مناسب خاکریزی باشد، در محل خاکریزی مصرف شود. در غیر این صورت اگر نتوان تمام خاک مورد نیاز را از خاکبرداری‌های در طول پروژه تهیه نمود باید متوسل به تامین خاک مورد نیاز از محل‌های مناسب و اصطلاحاً قرضه شد و یا برعکس باید خاک اضافی را به محل‌های تعیین شده حمل و اصطلاحاً دپو نمود. برای دستیابی به اقتصادی‌ترین نحوه جابجایی خاک در یک پروژه راهسازی از روش منحنی بروکنر استفاده می‌شود. هدف اصلی ترسیم و مطالعه منحنی بروکنر عبارت است از یافتن خط پخش یا خط توزیعی که با صرفه‌ترین حمل خاک را ایجاب می‌کند. در این پروژه برای ترسیم منحنی بروکنر مطابق جدول عملیات خاکی ۱-۱۰، حجم خاکبرداری را مثبت و حجم خاکریزی را منفی در نظر گرفتیم و ضریب تراکم را در خاکریزی ۰/۱۵ در نظر گرفتیم. در نهایت منحنی بروکنر مطابق شکل ۱-۱۰ روی کاغذ میلی‌متری A_3 با استفاده از جدول عملیات خاکی ۱-۱۰، که محور افقی آن شماره ایستگاه‌ها یا مقاطع عرضی بوده و محور قائم آن جمع جبری حجم عملیات خاکی می‌باشد، ترسیم شده است. در این پروژه در منحنی بروکنر مطابق شکل ۱-۱۰ خط اساس نشان داده شده بهترین خط توزیع یا تعادل بین خاکبرداری و خاکریزی بوده و در انتهای مسیر به ۲۷۰۰۰ متر مکعب قرضه جهت خاکریزی نیاز است. و همچنین جهت‌های نشان داده شده با فلش در واقع جهت حمل مصالح خاکی حاصل از خاکبرداری، به سمت محل خاکریزی را نشان می‌دهد.

شماره ایستگاه	فاصله (m)	سطح (m2)		حجم (m3)		خاکریزی * ضریب تراکم 0.15	حجم خاک برآوردی		جمع جبری عملیات خاکی
		خاکریزی	خاکبرداری	خاکریزی	خاکبرداری		خاکریزی (-)	خاکبرداری (+)	
A	20	346.43	0.00	6753.69	0.00	7766.74	-7766.74	0.00	0
1	20	328.94	0.00	5882.18	0.00	6764.51	-6764.51	0.00	-7767
2	20	259.28	0.00	4469.48	0.00	5139.90	-5139.90	0.00	-14531
3	20	187.66	0.00	2461.32	0.00	2830.52	-2830.52	0.00	-19671
4	20	58.47	0.00	584.67	239.85	672.37	-672.37	239.85	-22502
5	20	0.00	23.99	0.00	1553.36	0.00	0.00	1553.36	-22934
6	20	0.00	131.35	0.00	4058.44	0.00	0.00	4058.44	-21381
7	20	0.00	274.49	0.00	7089.01	0.00	0.00	7089.01	-17322
8	20	0.00	434.41	0.00	10013.25	0.00	0.00	10013.25	-10233
9	20	0.00	566.92	0.00	12260.14	0.00	0.00	12260.14	-220
10	20	0.00	659.10	0.00	13589.24	0.00	0.00	13589.24	12040
11	20	0.00	699.83	0.00	13936.29	0.00	0.00	13936.29	25629
12	20	0.00	693.80	0.00	13680.05	0.00	0.00	13680.05	39566
13	20	0.00	674.20	0.00	13154.34	0.00	0.00	13154.34	53246
14	20	0.00	641.23	0.00	12153.27	0.00	0.00	12153.27	66400
15	20	0.00	574.10	0.00	10516.88	0.00	0.00	10516.88	78553
16	20	0.00	477.59	0.00	8315.64	0.00	0.00	8315.64	89070
17	20	0.00	353.97	0.00	5881.45	0.00	0.00	5881.45	97386
18	20	0.00	234.17	0.00	3685.34	0.00	0.00	3685.34	103267
19	20	0.00	134.36	0.00	1921.14	0.00	0.00	1921.14	106953
20	20	0.00	57.75	103.15	765.97	118.62	-118.62	765.97	108874
21	20	10.31	18.84	554.41	214.63	637.57	-637.57	214.63	109521
22	20	45.13	2.62	1129.92	26.19	1299.41	-1299.41	26.19	109098
23	20	67.86	0.00	1370.35	0.00	1575.90	-1575.90	0.00	107825
24	20	69.17	0.00	1147.74	17.14	1319.90	-1319.90	17.14	106249
25	20	45.60	1.71	804.30	153.65	924.95	-924.95	153.65	104946
26	20	34.83	13.65	648.33	292.03	745.58	-745.58	292.03	104175
27	20	30.75	15.38	770.47	241.00	886.04	-886.04	241.00	103721
28	20	47.85	8.45	1224.05	85.99	1407.66	-1407.66	85.99	103076
29	20	77.78	0.00	1977.54	0.00	2274.17	-2274.17	0.00	101755
30	20	125.55	0.00	3165.30	0.00	3640.10	-3640.10	0.00	99480
31	20	199.64	0.00	4983.01	0.00	5730.46	-5730.46	0.00	95840
32	20	308.44	0.00	7725.25	0.00	8884.04	-8884.04	0.00	90110
33	20	472.89	0.00	10863.18	0.00	12492.66	-12492.66	0.00	81226
34	20	620.13	0.00	12870.48	0.00	14801.05	-14801.05	0.00	68733
35	20	671.38	0.00	14021.39	0.00	16124.60	-16124.60	0.00	53932
36	20	733.54	0.00	15385.01	0.00	17692.76	-17692.76	0.00	37808
37	20	806.45	0.00	15795.79	0.00	18165.16	-18165.16	0.00	20115
38	20	773.78	0.00	14964.19	0.00	17208.82	-17208.82	0.00	1950
39	20	722.92	0.00	13966.40	0.00	16061.36	-16061.36	0.00	-15259
40	20	673.72	0.00	12443.74	0.00	14310.30	-14310.30	0.00	-31321
41	20	570.65	0.00	10219.55	0.00	11752.48	-11752.48	0.00	-45631
42	20	451.30	0.00	7947.82	0.00	9139.99	-9139.99	0.00	-57383
43	20	343.48	0.00	5521.58	0.00	6349.82	-6349.82	0.00	-66523
44	20	208.68	0.00	2729.36	0.00	3138.76	-3138.76	0.00	-72873
45	20	64.26	0.00	642.58	384.78	738.97	-738.97	384.78	-76012
46	20	0.00	38.48	0.00	1458.20	0.00	0.00	1458.20	-76366
47	20	0.00	107.34	0.00	2336.27	0.00	0.00	2336.27	-74908
48	20	0.00	126.28	0.00	2773.48	0.00	0.00	2773.48	-72572
49	20	0.00	151.06	0.00	3214.95	0.00	0.00	3214.95	-69798
50	20	0.00	170.43	0.00	3357.35	0.00	0.00	3357.35	-66583
51	20	0.00	165.30	0.00	3233.79	0.00	0.00	3233.79	-63226
52	20	0.00	158.08	0.00	3102.80	0.00	0.00	3102.80	-59992
53	20	0.00	152.21	0.00	3046.01	0.00	0.00	3046.01	-56889
54	20	0.00	152.40	0.00	3055.77	0.00	0.00	3055.77	-53843
55	20	0.00	153.18	0.00	3080.13	0.00	0.00	3080.13	-50787
56	20	0.00	154.83	0.00	3091.51	0.00	0.00	3091.51	-47707
57	20	0.00	154.32	0.00	3086.58	0.00	0.00	3086.58	-44616
58	20	0.00	154.34	0.00	3119.32	0.00	0.00	3119.32	-41529
59	20	0.00	157.59	0.00	3494.20	0.00	0.00	3494.20	-38410
60	20	0.00	191.83	0.00	4276.01	0.00	0.00	4276.01	-34916
61	20	0.00	235.77	0.00	3885.65	0.00	0.00	3885.65	-30640
B	20	0.00	275.86	0.00	3885.65	0.00	0.00	3885.65	-26754

جدول ۱۰-۱- مقادیر حجم عملیات خاکی جهت ترسیم منحنی بروکنر.



شکل ۱۰-۱- منحنی بروکنر.

۱۱- طراحی ابنیه فنی

در هر پروژه راهسازی نیاز به طراحی و انتخاب ابنیه فنی (پلها و آبروها) مناسب جهت جمع‌آوری و هدایت آب می‌باشد. به عبارت دیگر هنگام طرح یک راه باید برای تخلیه آب‌های سطحی ناشی از بارندگی و دیگر عوامل تدابیری در نظر گرفت تا اولاً این آب‌ها در سطح راه باقی نمانند و ثانیاً در بعضی موارد این آب به دیگر لایه‌های روسازی و زیرسازی نفوذ نکند. در این زمینه لازم است تا روشی جهت تخلیه آب‌های سطحی تعیین نموده و به طرح ابنیه فنی پرداخت. این طراحی برای یک دوره بازگشت سیلاب طرح و امکان تخلیه آب صورت می‌گیرد. طبق تعریف آئین‌نامه ۴۱۵ بند ۱۰-۳-۱ صفحه ۳۶۲، ابنیه فنی با دهانه بزرگتر از ۶ متر را پل و ابنیه فنی با دهانه ۶ متر و کمتر را آبرو می‌نامند. در این پروژه با توجه به نقشه توپوگرافی مسیر و خط زمین طبیعی در پروفیل طولی راه شکل ۸-۱ در محل خط القعرها باید آبرو (کالورت) قرار داد. محل و نوع آبروها می‌بایست با استفاده از محاسبات هیدرولوژیکی و هیدرولیکی و با تعیین سطح حوضه آبرگیر و تقسیم بندی آن و محاسبه دبی سیلاب طرح مشخص گردد. در این پروژه با توجه به خط زمین طبیعی در پروفیل طولی راه، دو نقطه خط القعر وجود دارد (ایستگاه شماره ۲۳ و ۳۷). بنابراین برای این دو نقطه از مسیر راه، آبرو انتخاب و طراحی می‌کنیم.

۱-۱-۱- تعیین دوره بازگشت سیلاب طرح

طبق آئین‌نامه ۴۱۵ بند ۱۰-۳-۲-۲ جدول (۹-۱۰) صفحه ۳۶۳، دوره بازگشت سیلاب طرح برای آبروها در راه‌های اصلی ۲۵ سال است.

۱-۱-۲- تعیین دبی سیلاب طرح

جهت تعیین دبی سیلاب طرح باید اطلاعاتی نظیر وسعت حوزه، شدت بارندگی، زمان تمرکز، شیب منطقه، جنس حوزه و ... در اختیار باشد. با داشتن این اطلاعات می‌توان دبی حداکثر را بدست آورد و برای آن به طرح آبرو پرداخت. این دبی حداکثر میزان جریان رواناب سطحی گذرنده از یک مقطع در حین بارندگی یا پس از آن است که به شدت بارندگی منطقه، مساحت حوزه آبریز، جنس حوزه و دوره بازگشت (۲۵ سال) بستگی دارد. برای برآورد دبی سیلاب طرح، متناسب با داده‌ها و محدودیت‌های موجود می‌توان از روش‌های تجربی یا سایر روش‌ها استفاده کرد. در این پروژه از روش استدلالی استفاده می‌شود. این روش یکی از ساده‌ترین روش‌های تجربی متداول در برآورد دبی سیلاب طرح می‌باشد. این روش ترجیحاً برای حوضه‌های آبریز کوچک و ساده (کمتر از ۱/۳ کیلومتر مربع یا ۱۳۰ هکتار) کاربرد دارد و همچنین در این روش ضریب رواناب سطحی و متوسط شدت بارش در کل حوضه آبریز یکسان فرض می‌شود. در زیر رابطه روش استدلالی آورده شده است.

$$Q = 0.28CIA$$

Q : دبی سیلاب طرح (مترمکعب بر ثانیه).

C : ضریب رواناب سطحی.

I : متوسط شدت بارش در دوره بازگشت مورد نظر (میلی متر بر ساعت).

A : مساحت حوضه آبریز (کیلومتر مربع).

۱-۱-۲-۱- تعیین ضریب رواناب سطحی

ضریب رواناب سطحی (C)، درصدی از بارش را که به رواناب تبدیل می‌شود نشان می‌دهد. طبق آئین‌نامه ۴۱۵ بند ۱۰-۴-۲-۳ صفحه ۳۶۱، این ضریب شامل چهار بخش مختلف است که با گرفتن مجموع از این بخش‌ها، ضریب رواناب بدست می‌آید.

بخش اول مربوط به شیب منطقه است که با توجه به محدوده تعیین شده از آئین‌نامه و شیب هر حوضه بدست می‌آید.

بخش دوم این ضریب به جنس اراضی بستگی دارد.

بخش سوم در ارتباط با پوشش گیاهی است.

بخش چهارم با توجه به میزان چاله و گودال در حوضه آبگیر بدست می‌آید.

با توجه به آئین‌نامه ۴۱۵ جدول (۱۰-۶) صفحه ۳۶۱ و در این پروژه با توجه به کوهستانی بودن حوضه آبگیر (شیب ۱۰ تا ۱۵ درصد)، قسمت اول ضریب رواناب ۰/۲۵، قسمت دوم ۰/۰۷ (جنس اراضی ماسه‌ای لومی، با نفوذ متوسط)، قسمت سوم ۰/۱ (چمنی با پوشش کمتر از ۲۰ درصد) و قسمت چهارم ۰/۰۹ (گودال کم، فاقد اراضی باتلاقی یا حوضچه). که در کل ضریب رواناب حوضه آبگیر برابر خواهد بود با :

$$C = 0.25 + 0.07 + 0.1 + 0.09 = 0.51$$

۱۱-۲-۲- تعیین متوسط شدت بارش

شدت بارش عبارت است از متوسط حجم بارش در طول مدت بارندگی بر حسب میلی‌متر بر ساعت که برای تعیین این پارامتر برای یک دوام مشخص و یک دوره بازگشت معین، از منحنی‌ها یا روابط شدت-مدت-فراوانی (در صورت موجود بودن) استفاده می‌شود. در غیر این صورت می‌توان با استفاده از داده‌های خام ایستگاه‌های هواشناسی مربوط و به کارگیری روش‌های آماری مناسب، شدت بارندگی را برای یک دوام مشخص با دوره بازگشت معین استخراج کرد. در این پروژه با توجه به در دسترس نبودن روابط و منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی و همچنین داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی منطقه مورد نظر، از یک مقدار فرضی برای شدت متوسط بارش منطقه برابر ۱۵ میلی‌متر بر ساعت استفاده شده است.

۱۱-۲-۲- تعیین مساحت حوضه آبگیر

مساحت حوضه آبگیر به کیلومتر مربع یا هکتار بیان می‌شود که از روی نقشه توپوگرافی یا عکس‌های هوایی محاسبه می‌شود. در این پروژه از روی نقشه توپوگرافی موجود در روی پلان مسیر راه در دو ایستگاه شماره ۲۳ و ۳۷ که با توجه به خط القعر بودن آن‌ها نیاز به آبرو دارند، مساحت حوضه آبگیر آن‌ها به ترتیب برابر ۰/۰۱ و ۰/۰۶ کیلومتر مربع محاسبه شده است.

در این پروژه دبی سیلاب طرح در حوضه آبخیز خط القعرها با استفاده از فرمول روش استدلالی محاسبه شده و در جدول ۱۱-۱ آورده شده است.

شماره ایستگاه	کیلومتر	C	I (mm/hr)	A (km ²)	Q (m ³ /s)
23	0+460	0.51	15	0.01	0.02
37	0+740	0.51	15	0.06	0.13

جدول ۱۱-۱- محاسبه دبی سیلاب طرح در خط القعرها.

۱۱-۳- انتخاب و طراحی هیدرولیکی آبروها

۱۱-۳-۱- انتخاب آبروها

با توجه به ارتفاع خاکریزی روی خط القعر ایستگاه شماره ۲۳ که کمتر از ۳ متر است باید از آبرو دالی همسطح یا آبگذر لوله‌ای استفاده کرد. و با توجه به ارتفاع خاک ریزی روی خط القعر ایستگاه شماره ۳۷ که بیشتر از ۳ متر است باید از آبروی طاقی زیر خاکی استفاده کرد. شرح نقاط و نوع آبروهای انتخابی در جدول ۱۱-۲ آورده شده است.

شماره آبرو	شماره ایستگاه	کیلومتر	نوع آبرو
1	23	0+460	آبروی دایره‌ای یا آبگذر لوله‌ای با قطر ۱ متر
2	37	0+740	آبروی طاقی زیرخاکی یک دهانه ۶ متری با ارتفاع ۴ متر

جدول ۱۱-۲- مشخصات نقاط خط القعر و نوع آبروها.

۱۱-۳- طراحی هیدرولیکی آبروها

طبق نشریه ۴۱۵ بند ۱۰-۵-۳-۱ صفحه ۳۷۱، برای طراحی هیدرولیکی آبروها می‌توان با استفاده از رابطه مانینگ مقدار دبی عبوری از این آبروها را محاسبه کرده و با دبی سیلاب طرح محاسبه شده در جدول ۱۱-۱ مقایسه کرد، در صورتی که دبی عبوری محاسبه شده برای آبروها بزرگتر یا مساوی دبی سیلاب طرح مورد نظر باشد که آبرو مورد نظر مناسب عبور دبی سیلاب طرح می‌باشد و در غیر این صورت باید طول یا تعداد دهانه آبرو را افزایش داده و محاسبات را تا رسیدن به دهانه مناسب جهت عبور دبی سیلاب طرح ادامه داد. رابطه مانینگ که روشی تجربی بر اساس یکنواخت بودن جریان آب‌های سطحی است در زیر آورده شده است.

$$Q = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}$$

Q : دبی عبوری از آبرو (مترمکعب بر ثانیه).

n : ضریب زبری مانینگ (آئین‌نامه ۴۱۵ جدول ۱۰-۱۲ صفحه ۳۷۲، برای خاک ماسه‌ای ۰/۰۲ است).

A : مساحت مقطع جریان آبرو (متر مربع).

R : شعاع هیدرولیکی جریان آبرو، برابر نسبت مساحت مقطع جریان آبرو به محیط جریان آبرو (متر).

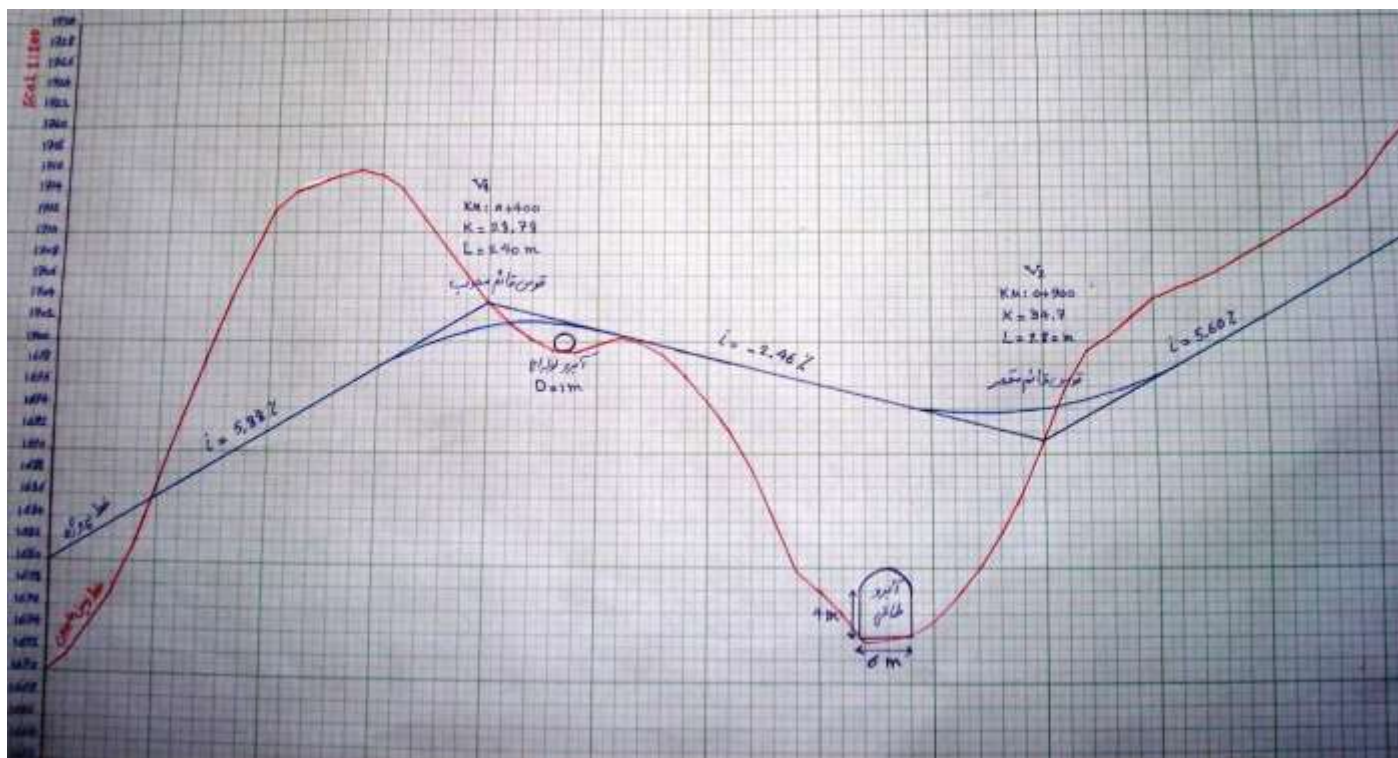
S : شیب کف آبرو (۰/۰۰۱).

در جدول ۱۱-۳ محاسبات طراحی هیدرولیکی آبروها با استفاده از رابطه مانینگ آورده شده است همانطور که در جدول مشاهده می‌شود مقدار دبی عبوری از آبروها از دبی سیلاب طرح محاسبه شده در جدول ۱۱-۱ بزرگتر می‌باشد بنابراین آبروهای انتخاب شده جوابگوی دبی سیلاب طرح می‌باشد.

شماره آبرو	n	A (m ²)	P (m)	R (m)	S	Q (m ³ /s)
1	0.02	0.8	3.14	0.25	0.001	0.49
2	0.02	12	12	1	0.001	18.97

جدول ۱۱-۳- طراحی هیدرولیکی آبروها.

در شکل ۱-۱۱ محل قرارگیری، شکل و ابعاد آبروها در پروفیل طولی محور راه نشان داده شده است.



شکل ۱-۱۱ محل قرارگیری، شکل و ابعاد آبروها در پروفیل طولی محور راه.

۱۲- طراحی روسازی راه

سازه روسازی راه، یک سیستم چند لایه‌ای است که برای توزیع و انتقال بار متمرکز ترافیک به بستر روسازی طرح می‌شود. طراحی شامل تعیین ضخامت کل سازه و هر یک از لایه‌های تشکیل دهنده آن و کیفیت مصالح مصرفی این ساختار است. این طراحی به گونه‌ای انجام می‌شود که روسازی آسفالتی در دوره طرح با قابلیت اطمینان معینی، آمد و شد راحت، مطمئن و ایمن در یک سطح هموار را تامین نماید. لذا نشانه خدمت دهی روسازی باید بعنوان معیار طراحی مورد استفاده قرار گیرد. ضخامت و کیفیت مصالح لایه‌های روسازی به نوع و درجه‌بندی راه، مقاومت خاک بستر، میزان ترافیک، شرایط جوی، نوع مصالح قابل دسترسی و عوامل اقتصادی بستگی دارد. خصوصیات و ویژگی‌های کلی بستر و هر یک از لایه‌های تشکیل دهنده روسازی، بشرح زیر است:

۱۲-۱- بستر روسازی (Sub Grade)

شیب‌های طولی و عرضی جاده که در طرح راه تعیین شده‌اند باید در سطح بستر روسازی تامین شود تا لایه های روسازی با ضخامت‌های طراحی شده اجرا گردد. با توجه به مطالعات ژئوتکنیک و براساس این که خاک منطقه در حالت کلی براساس دسته‌بندی آشتو A-4 می‌باشد. لذا خاک منطقه برای بستر راه مورد نظر از دید آیین نامه روسازی آسفالتی ایران نشریه ۲۳۴، مناسب می‌باشد.

۱۲-۲- زیراساس (Sub Base)

مصالح زیراساس معمولاً از بستر رودخانه‌ها، مخروطه افکنه‌ها و یا معادن کوهی (سنگ شکسته) تهیه می‌شود و در موردهایی که ضرورت فنی و اقتصادی ایجاب نماید از تثبیت خاک با قیر، سیمان، آهک و یا افزودنی‌های شیمیایی استفاده می‌شود. مصالح زیراساس باید دارای دانه‌بندی پیوسته، مقاومت کافی در برابر یخبندان و خاصیت زهکشی مطلوب باشد. مصالح زیر اساس برای راه مورد نظر از مصالح محلی و منطبق بر دانه‌بندی شماره II زیراساس، ذکر شده در آیین نامه ۲۳۴ جدول (۳-۱) صفحه ۲۶ هستند و مصالح محلی از نوع مصالح شن و ماسه رودخانه‌ای‌اند.

۱۲-۳- اساس (Base)

مصالح اساس را می‌توان از تثبیت مصالح طبیعی و یا شکسته با قیر، سیمان و یا آهک تحت عنوان اساس قیری، اساس سیمانی و اساس آهکی تهیه کرد. دانه‌بندی مصالح اساس با توجه به شرایط محلی، باید با یکی

از دانه‌بندی‌های مندرج در آیین نامه ۲۳۴ جدول (۴-۱) صفحه ۳۷ مطابقت داشته باشد. لذا در این پروژه دانه بندی مصالح اساس را منطبق با دانه‌بندی شماره I انتخاب می‌کنیم.

۱۲-۴- قشرهای آسفالتی

براساس آیین نامه ۲۳۴ برای جاده‌های با ترافیک سنگین و خیلی سنگین از نوع بتن آسفالتی گرم و برای جاده‌های با ترافیک متوسط و سبک می‌توان از انواع آسفالت سطحی و آسفالت سرد استفاده کرد. دانه‌بندی قشر بتن آسفالتی براساس آیین نامه ۲۳۴ جدول (۱۰-۵) صفحه ۳۹ انتخاب می‌شود. در راه‌های با ترافیک خیلی کم و سبک پس از اجرای زیرسازی، رویه راه می‌تواند با آسفالت سطحی و یا مصالح شنی اجرا شود.

۱۲-۵- مشخصات قیر مصرفی در پروژه

در این پروژه از قیر محلول RC-70 استفاده می‌کنیم که مخصوص آب و هوای سرد (منطقه کوهستانی) می‌باشد. مشخصات فنی این نوع قیر به صورت زیر است. درجه نفوذ پسمانده از تقطیر 80-120 می‌باشد. قابلیت شکل پذیری قیر پسمانده از تقطیر ۱۰۰ و درجه خلوص آن ۹۹٪ و درجه حجمی آب موجود در آن کمتر از ۰/۲ می‌باشد. ضمناً اگر دمای محیط کمتر از ۱۰ درجه باشد از اندود نفوذی استفاده نمی‌شود.

۱۲-۶- آماده سازی بستر روسازی

بستر روسازی راه برحسب اینکه در خاکریزی، خاکبرداری، برش سنگی و یا زمین طبیعی باشد به شیوه‌های مختلف آماده می‌شود که با توجه به این مسئله که بستر مورد نظر در این پروژه تنها در خاکریزی و خاکبرداری قرار گرفته است فقط به شرح این دو مورد می‌پردازیم.

۱۲-۶-۱- خاکریزها

بر اساس ضوابط آیین نامه ۲۳۴ و با توجه به اینکه خاک منطقه از نوع A-4 می‌باشد مناسبترین خاک برای خاکریزی بوده و نیازی به مواد تثبیت کننده مانند آهک و یا سیمان نخواهیم داشت و تنها باید آبپاشی، شیب بندی و تراکم در مورد آن انجام گیرد.

۱۲-۶-۲- خاکبرداری‌ها

در قسمت‌هایی از مسیر با توجه به آیین نامه ۲۳۴ در صورت نیاز اقدام به تعویض مصالح دو قشر نهایی کف ترانشه با استفاده از مصالح مرغوب می‌گردد.

۱۲-۶-۳- تراکم بستر روسازی

بر اساس آیین نامه ۲۳۴ جدول (۱-۲) صفحه ۲۰ و با توجه به اینکه نوع راه، اصلی درجه یک و نوع خاک A-4 می باشد، لذا درصد تراکم بستر روسازی در دو لایه نهایی خاکریزی و خاکبرداری بستر روسازی راه برابر ۹۵٪ می باشد. همچنین با توجه به آیین نامه ۲۳۴ جدول (۹-۱۱) صفحه ۱۴۰ و با توجه به اینکه متوسط درجه حرارت سالیانه منطقه بین ۷ تا ۲۴ درجه سانتی گراد می باشد و ترافیک راه مورد بررسی که نسبتاً سنگین می باشد، لذا درجه نفوذ قیر مورد نیاز بین ۷۰-۶۰ خواهد بود. که با توجه به تولید قیر فوق در ایران، این قیر به عنوان قیر مصرفی انتخاب می گردد.

۱۲-۷- عمر طراحی

دوره یا عمر طراحی، مدت زمانی است که روسازی دچار خرابی های عمده نشود. در برخی از موارد، طرح و اجرای روسازی بصورت مرحله ای از لحاظ اقتصادی، بیشتر مقرون به صرفه است. معمولاً طراحی به گونه ای تعیین می گردد که در طی این مدت، اجرای یک روکش برای آن پیش بینی شود. انتخاب این گزینه با در نظر گرفتن هزینه های نگهداری در دوران بهره برداری و هزینه های روکش بعدی صورت می گیرد. عمر طراحی برحسب اهمیت راه تعیین می شود. برای مثال عمر طراحی راه های آسفالتی با توجه به شرایط کلی نگهداری راه های کشور در آئین نامه ۲۳۴ جدول (۱-۱۱) صفحه ۱۷۴ نشان داده شده است. در این پروژه عمر طراحی روسازی برابر ۲۰ سال در نظر گرفته شده است.

۱۲-۸- عمر بهره برداری

عمر یا دوره بهره برداری، مدت زمانی است که روسازی اولیه بدون نیاز به روکش با کیفیت قابل قبول دوام آورد. زمان بین دو روکش را نیز عمر بهره برداری می نامند. در واقع این دوره شامل مدت زمانی است که روسازی از میزان خدمت دهی اولیه (P_i) به میزان خدمت دهی نهایی (P_f) برسد. عمر بهره برداری بر اساس تجربه های طراح و سیاست های کارفرما تعیین می شود و تابع نحوه و سیستم نگهداری راه است.

۱۲-۹- محاسبات ترافیکی

با استفاده از آمار ترافیکی فرضی سال ۱۳۹۵ و با فرض نشانه خدمت روسازی در پایان عمر مفید آن برابر با $2/5$ ($P_t=2.5$) و عدد ضخامت روسازی برابر با ۵ ($SN=5$) بر اساس آئین نامه ۲۳۴ جداول (۱-۱۰) صفحه ۱۶۵، (۱۰-۵) و (۱۰-۶) صفحه ۱۶۷ میزان محورهای معادل $8/2$ تنی مطابق جدول ۱-۱۲ است.

تعداد محور معادل 8.2 تنی	ضریب بار محور هم ارزی Pt=2.5 و SN=5	تعداد محور	وزن محور (تن)	تعداد محور وسایل نقلیه	آمار ترافیکی سال ۱۳۹۵	نوع وسایل نقلیه	
0.53352	0.00038	1404	1	2	1404	سواری	وسایل نقلیه سبک
0.53352	0.00038	1404	1				
0.5214	0.01738	30	3	2	30	مینی بوس	
0.5214	0.01738	30	3				
120.95	0.295	410	6	2	410	کامیونت	
602.7	1.47	410	9				
725.760	EAL_0^L تعداد محورهای معادل 8.2 تنی در سال اول				1844	مجموع	
4.53618	0.01738	261	3	2	261	اتوبوس	وسایل نقلیه سنگین
76.995	0.295	261	6				
156.645	0.295	531	6	2	531	کامیون ۲ محوره	
3146.175	5.925	531	13				
104.43	0.295	354	6	3	354	کامیون ۳ محوره	
1069.08	3.02	354	20*				
98.235	0.295	333	6	4	333	تریلی ۴ محوره	
732.933	2.201	333	10				
424.7748	1.2756	333	16*				
5813.804	EAL_0^H تعداد محورهای معادل 8.2 تنی در سال اول				1479	مجموع	
6539.564	تعداد کل محورهای معادل 8.2 تنی در سال اول						

* محور از نوع مرکب تاندم.

جدول ۱۲-۱- میزان محورهای معادل ۸/۲ تنی.

۱۲-۹-۱- تعیین ضریب رشد ترافیک

با در دست داشتن نرخ رشد سالیانه ترافیک و دوره طرح روسازی بر حسب سال، ضرایب رشد ترافیک برای دوره‌های مختلف طرح از آئین‌نامه ۲۳۴ جدول (۱۰-۱۱) صفحه ۱۷۰ بدست می‌آید. و یا این ضرایب بر حسب نرخ رشد سالیانه و عمر طرح از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$\text{ضریب رشد ترافیک} = \frac{(1+r)^n - 1}{r}$$

r : نرخ رشد سالیانه ترافیک

n : دوره طرح روسازی بر حسب سال

$$L = \frac{(1+0.04)^{20} - 1}{0.04} = 29.78$$

ضریب رشد ترافیک وسایل نقلیه سبک

$$H = \frac{(1+0.02)^{20} - 1}{0.02} = 24.30$$

ضریب رشد ترافیک وسایل نقلیه سنگین

$$ESAL_{20}^L = 365 \times EAL_0^L \times L = 365 \times 725.760 \times 29.78 = 7888793.472$$

$$ESAL_{20}^H = 365 \times EAL_0^H \times H = 365 \times 5813.804 \times 24.30 = 51565534.58$$

$$ESAL_{20}^T = ESAL_{20}^L + ESAL_{20}^H = 7888793.472 + 51565534.58 = 60 \times 10^6$$

EAL_0^L : تعداد کل محورهای هم ارز وسایل نقلیه سبک در سال اول طرح

EAL_0^H : تعداد کل محورهای هم ارز وسایل نقلیه سنگین در سال اول طرح

$ESAL_{20}^L$: تعداد کل محورهای هم ارز وسایل نقلیه سبک در سال آخر طرح

$ESAL_{20}^H$: تعداد کل محورهای هم ارز وسایل نقلیه سنگین در سال آخر طرح

$ESAL_{20}^T$: تعداد کل محورهای هم ارز وسایل نقلیه سبک و سنگین در سال آخر طرح

۱۲-۹-۲- محاسبه توزیع ترافیک در خط طرح

تعداد ترافیک یا تعداد محورهای استاندارد عبوری از خط طرح از رابطه بدست می‌آید.

$$W = D_D \times D_L \times ESAL_{20}^T = 0.5 \times 1 \times 60 \times 10^6 = 30 \times 10^6$$

W : تعداد کل محورهای استاندارد که در دوره طرح از خط طرح عبور می‌کنند.

D_D : ضریب توزیع ترافیک در هر جهت برابر با ۰/۵ (با فرض مساوی بودن ترافیک در رفت و برگشت).

D_L : ضریب توزیع ترافیک در خط طرح می‌باشد که از آئین نامه ۲۳۴ جدول (۱۰-۱۲) صفحه ۱۷۱ بدست می‌آید. (این ضریب برای راه ۱ خط در هر جهت ۱۰۰٪ است.)

۱۲-۱۰-۱- سطح قابلیت اطمینان و انحراف معیار

در طراحی روسازی برای اطمینان از دوام آن و اعمال اثر تغییرات احتمالی تعداد ترافیک پیش بینی شده در عملکرد روسازی، سطح قابلیت اطمینان (R)، انحراف معیار کلی (S_0) و انحراف معیار نرمال (Z_R) در محاسبات منظور می‌شود. سطح قابلیت اطمینان، نشان می‌دهد که با چه درصد اطمینانی می‌توان انتظار داشت که روسازی طرح شده عملاً معادل عمر طراحی دوام آورد. مقادیر سطح قابلیت اطمینان و انحراف معیار نرمال مربوط به سطح قابلیت اطمینان مورد نظر برای انواع راه‌ها در آئین نامه ۲۳۴ جدول (۱۱-۲) صفحه ۱۷۵ بدست می‌آید. در این پروژه که برای راه اصلی است سطح قابلیت اطمینان ($R=80\%$)، انحراف معیار کلی ($S_0=0.35$) و انحراف معیار نرمال ($Z_R=-1.645$) از جدول (۱۱-۲) بدست آمده است.

۱۲-۱۱- نشانه خدمت دهی و کاهش خدمت دهی روسازی در اثر ترافیک

در آئین‌نامه ۲۳۴ صفحه ۱۷۷، نشانه خدمت دهی اولیه روسازی‌های آسفالتی (P_i)، حداکثر ۴/۲، نشانه خدمت دهی نهایی (P_t) برای راه‌های اصلی، برابر ۲/۵ تعیین شده است.

کاهش خدمت دهی روسازی در اثر ترافیک (ΔPSI_{TR}) از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$\Delta PSI_{TR} = P_i - P_t = 4.2 - 2.5 = 1.7$$

۱۲-۱۲- تعیین ضریب برجهندگی موثر خاک بستر روسازی

ضریب برجهندگی موثر خاک بستر روسازی (M_R) که یک پارامتر معرف مقاومت خاک بستر روسازی برای رطوبت خاک در ماه‌های مختلف سال است از آئین‌نامه ۲۳۴ جدول (۳-۱۱) صفحه ۱۸۱ بدست می‌آید. که برابر ۴۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع است.

۱۲-۱۳- تعیین ضرایب ضخامت لایه‌های روسازی

۱۲-۱۳-۱- ضریب لایه زیراساس

ضریب لایه زیراساس (a_3)، با توجه به قدرت باربری مصالح بر حسب CBR (نسبت باربری کالیفرنیا) یا ضریب ارتجاعی (E_{SB}) بیان می‌شود، این ضریب برای E_{SB} معادل 1050 Kg/cm^2 به شرح بند (۲-۴-۱۱) صفحه ۱۸۰ آئین‌نامه ۲۳۴ از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$a_3 = 0.227 \text{Log} \left(\frac{E_{SB}}{0.07} \right) - 0.839 = 0.227 \text{Log} \left(\frac{1050}{0.07} \right) - 0.839 = 0.11$$

۱۲-۱۳-۲- ضریب لایه اساس شکسته

ضریب لایه اساس (a_2)، با توجه به قدرت باربری مصالح بر حسب CBR یا ضریب ارتجاعی (E_{BS}) بیان می‌شود، این ضریب برای E_{BS} معادل 1960 Kg/cm^2 به شرح بند (۳-۴-۱۱) صفحه ۱۸۰ آئین‌نامه ۲۳۴ از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$a_2 = 0.249 \text{Log} \left(\frac{E_{BS}}{0.07} \right) - 0.977 = 0.249 \text{Log} \left(\frac{1960}{0.07} \right) - 0.977 = 0.13$$

۱۲-۱۳-۳- ضریب لایه بتن آسفالتی

بشرح مشخصات فنی بتن آسفالتی در آئین‌نامه ۲۳۴ بند ۴-۱۱-۵ صفحه ۱۸۲، ضریب لایه این مصالح (a_1) برای ضریب ارتجاعی 31500 Kg/cm^2 ، مطابق آئین‌نامه ۲۳۴ شکل (۶-۱۱) صفحه ۱۸۴، برابر ۰/۴۴ است.

۱۲-۱۴- ضرایب زهکشی لایه‌های روسازی

کیفیت زهکشی در آئین‌نامه روسازی آسفالتی ایران، برای مصالح غیر آسفالتی روسازی (زیراساس و اساس تثبیت نشده) بر حسب مدت زمانی تعریف می‌شود که طی آن ۵۰ درصد آب آزاد این مصالح، زهکشی و تخلیه شود. با این تعریف، مصالح روسازی از نظر خاصیت زهکشی و سرعت خروج آب به پنج طبقه تقسیم می‌شود که در آئین‌نامه ۲۳۴ جدول (۱۱-۴) صفحه ۱۸۷ نشان داده شده است. در این پروژه کیفیت زهکشی مصالح اساس و زیراساس، خوب فرض می‌شود.

ضرایب زهکشی لایه‌های زیراساس (m_3) و اساس (m_2) از آئین‌نامه ۲۳۴ جدول (۱۱-۵) صفحه ۱۸۷ برای کیفیت زهکشی خوب و منطقه معتدل (کوهستانی) برابر ۱/۱۵ تعیین می‌شود.

۱۲-۱۵- محاسبه عدد سازه‌ای یا عدد ضخامت روسازی

عدد سازه‌ای یا عدد ضخامت روسازی (SN) از آئین‌نامه ۲۳۴ رابطه (۱۱-۱۰) صفحه ۱۸۷ محاسبه می‌شود.

$$\text{Log}W = Z_R S_0 + 9.36 \text{Log}(SN + 1) - 0.2 + \frac{\text{Log}\left(\frac{\Delta \text{PSI}_{TR}}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \text{Log} \frac{M_R}{0.07} - 8.07$$

$$\text{Log}(30 \times 10^6) = -1.645 \times 0.35 + 9.36 \text{Log}(SN + 1) - 0.2 + \frac{\text{Log}\left(\frac{1.7}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \text{Log} \frac{400}{0.07} - 8.07$$

$$SN=6$$

۱۲-۱۶- تکرار محاسبات ترافیکی

فرض اولیه SN برابر 5 بود حال باید با توجه به مقدار SN محاسبه شده از رابطه بالا محاسبات ترافیکی را با SN=6 تکرار کرد.

تعداد محاور معادل 8.2 تنی	ضریب بار محاور هم ارزی Pt=2.5 و SN=6	تعداد محاور	وزن محاور (تن)	تعداد محاور وسایل نقلیه	آمار ترافیکی سال ۱۳۹۵	نوع وسایل نقلیه	
0.53352	0.00038	1404	1	2	1404	سواری	وسایل نقلیه سبک
0.53352	0.00038	1404	1				
0.471	0.0157	30	3	2	30	مینی بوس	
0.471	0.0157	30	3				
114.349	0.2789	410	6	2	410	کامیونت	
617.993	1.5073	410	9				
734.351	EAL_0^L تعداد محاورهای معادل 8.2 تنی در سال اول				1844	مجموع	
4.0977	0.0157	261	3	2	261	اتوبوس	
72.7929	0.2789	261	6				
148.0959	0.2789	531	6	2	531	کامیون ۲ محوره	
3496.635	6.585	531	13				
98.7306	0.2789	354	6	3	354	کامیون ۳ محوره	
1129.791	3.1915	354	20*				
92.8737	0.2789	333	6	4	333	تریلی ۴ محوره	
773.892	2.324	333	10				
423.576	1.272	333	16*				
6240.485	EAL_0^H تعداد محاورهای معادل 8.2 تنی در سال اول				1479	مجموع	
6974.836	تعداد کل محاورهای معادل 8.2 تنی در سال اول						

* محور از نوع مرکب تاندم.

$$ESAL_{20}^L = 365 \times EAL_0^L \times L = 365 \times 734.351 \times 29.78 = 7982175.065$$

$$ESAL_{20}^H = 365 \times EAL_0^H \times H = 365 \times 6240.485 \times 24.30 = 55349981.71$$

$$ESAL_{20}^T = ESAL_{20}^L + ESAL_{20}^H = 7982175.065 + 55349981.71 = 63 \times 10^6$$

$$W = D_D \times D_L \times ESAL_{20}^T = 0.5 \times 1 \times 63 \times 10^6 = 31.5 \times 10^6$$

$$\text{Log}(31.5 \times 10^6) = -1.645 \times 0.35 + 9.36 \text{Log}(SN + 1) - 0.2 + \frac{\text{Log}\left(\frac{1.7}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \text{Log} \frac{400}{0.07} - 8.07$$

$$SN=6$$

۱۲-۱۷- تعیین ضخامت لایه‌های روسازی

برای تعیین ضخامت آسفالت (D_1)، اساس (D_2) و زیراساس (D_3)، از رابطه زیر استفاده می‌کنیم.

$$SN = \frac{1}{2.5} (a_1 D_1 + a_2 m_2 D_2 + a_3 m_3 D_3)$$

اعداد محاسبه شده برای ضخامت لایه‌ها به نزدیکترین سانتی‌متر، تقریب می‌شود. در انتخاب ضخامت لایه‌ها، باید مسایل اجرایی احداث، نگهداری و ملاحظات اقتصادی مد نظر قرار گیرد. حداقل ضخامت اجرایی هر یک از لایه‌های روسازی برای تعداد کل ترافیک مربوطه در آئین‌نامه ۲۳۴ جدول (۱۱-۶) صفحه ۱۸۸ نشان داده شده است. در این پروژه با توجه به مقادیر حداقل ضخامت جدول (۱۱-۶) برای ترافیک محاسبه شده ضخامت لایه اساس برابر ۳۰ سانتی‌متر و ضخامت لایه زیراساس برابر ۴۰ سانتی‌متر تعیین شده است. و از رابطه زیر مقدار ضخامت لایه آسفالتی را محاسبه می‌کنیم.

$$6 = \frac{1}{2.5} (0.44 D_1 + 0.13 \times 1.15 \times 30 + 0.11 \times 1.15 \times 40)$$

$$D_1 = 13 \text{ cm}$$

۱۲-۱۸- کنترل محاسبات

$$SN = \frac{1}{2.5} (0.44 \times 13 + 0.13 \times 1.15 \times 30 + 0.11 \times 1.15 \times 40) = 6.11 \geq 6 \quad Ok$$

کنترل محاسبات، نشان می‌دهد که عدد سازه‌ای کل روسازی محاسبه شده، با عدد ۶ بدست آمده مطابقت دارد. در جدول ۱۲-۲ زیر جزئیات طراحی ضخامت لایه‌های روسازی راه آورده شده است.

ضخامت (Cm)	نوع لایه روسازی	
6	رویه (توپکا)	آسفالت
7	آستر (بیندر)	
30	اساس (Base)	
40	زیراساس (Sub base)	
83	جمع	

جدول ۱۲-۲- جزئیات ضخامت لایه‌های طراحی شده روسازی راه.