

اصول مهندسی پل



فصل پنجم

تحلیل و طراحی عرشه دو عنصری

مدرس: دکتر محمد رضا میر جلیلی

دانشگاه یزد - نیم سال اول ۹۶-۹۵



همانطور که در فصل دوم اشاره شد، عرشه های دو عنصری از دو عنصر دال و شاهتیرهای طولی تشکیل شده اند. در این بخش ابتدا نحوه تحلیل و توزیع بار روی دال توضیح داده شده و سپس نحوه توزیع بار بین شاهتیرهای طولی ارائه خواهد شد.

۱- تحلیل و توزیع بار روی دال

به طور کلی اگر دال بر روی دو شاهتیر طولی تکیه زده باشد، دهانه ساده منظور می شود و در صورت وجود بیش از دو شاهتیر طولی در سیستم عرشه، دال به صورت پیوسته یا یکسره در نظر گرفته می شود.

۱-۱- طول دهانه مؤثر در دالها، S

طول دهانه مؤثر در دالهای یکسره باید به شرح زیر تعیین شود:

۱- دالی که با تیرهای بتنی به صورت یکپارچه بدون ماهیچه است: فاصله آزاد بین تیرها

۲- دالی که روی تیرهای فولادی به صورت مرکب قرار دارد:

فاصله داخلی بین لبه های بال تیر + نصف پهنای بال تیر فولادی

طول دهانه مؤثر در دالهایی که بطور ساده روی تکیه گاه ها نشسته اند باید معادل فاصله

محور تا محور تکیه گاه ها یا طول آزاد دهانه به اضافه ضخامت دال، هر کدام کوچکتر است، در نظر گرفته شود.

در تمام موارد در جهت اطمینان می توان دهانه محاسباتی را برابر با فاصله مرکز به مرکز تیرها منظور کرد.

۱-۲- لنگر خمشی وارد بر دال

در دال عرشه دو عنصری، دهانه ها بین تیرهای طولی تشکیل شده و بنابراین آرماتورهای اصلی خمشی دال عمود بر امتداد ترافیک می باشند (بر خلاف دالهای تک عنصری). در این حالت لنگر خمشی دال برای بار مرده و زنده برای یک متر پهنای دال برابر است با:

$$M_d = \pm qS^2/10$$

$$M_L = \pm 0.8 \frac{1.64S+1}{16} P$$

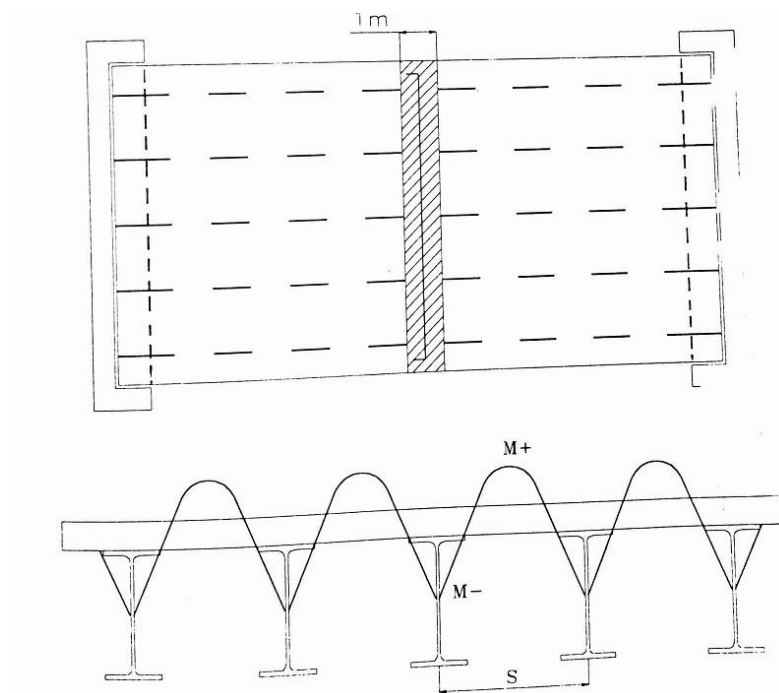
S = طول دهانه که قبلاً شرح داده شد

M_d = لنگر بار مرده

M_L = لنگر بار زنده

P = بار وارد بر یک چرخ عقب کامیون (تن) مساوی ۸ تن برای کامیون ایران

لنگر مثبت و منفی به صورت مساوی منظور می شود.



نکته ۱: برای دالهای دهانه ساده لنگر مثبت دهانه به دست آمده از روابط فوق، ۰,۲۵ درصد افزایش می یابد. واضح است که در این دالها لنگر منفی تکیه گاهی نداریم.

نکته ۲: اثر ضربه برای بار زنده باید به مقادیر فوق اضافه گردد. $M_T = M_D + 1.3M_L$

نکته ۳: حداقل ضخامت برای دهانه های کوچکتر از ۲ متر، ۱۵ سانتی متر و برای دهانه های بزرگتر از ۲ متر، ۲۰ سانتی متر مقرر شده است.

۳-۱- آرماتورهای توزیع

برای توزیع جانبی بارهای متمرکز زنده در امتداد عرضی، میلگردهایی باید در قسمت تحتانی دال، عمود بر میلگردهای اصلی قرار داده شوند. به این میلگردها، میلگردهای توزیع می گویند. برای دال پل هایی که در روی آنها ۰/۶ متر خاکریزی وجود دارد، این میلگردها لازم نیست. مقدار این میلگردها درصدی از فولادهای اصلی لازم برای لنگر مثبت می باشد که این درصد به صورت زیر تعریف می شود:

$$\frac{A_{S \text{ طولی}}}{A_{S \text{ عرضی}}} = \text{درصد میلگردهای توزیع نسبت به میلگردهای اصلی} = \frac{120}{\sqrt{s}} < 67\% \quad (۵-۳)$$

۴-۱- تحلیل دالهای طره

الف) لنگر خمشی ناشی از بار زنده



عرضی از دال که بار چرخ در روی آن توزیع می شود، از رابطه زیر به دست می آید:

$$E = 0.8X + 1.143 \quad (3-6)$$

در رابطه فوق:

X = فاصله نقطه تأثیر بار متمرکز از نقطه تکیه گاهی بر حسب متر
اگر بار چرخ مساوی P باشد، لنگر وارد بر واحد عرض دال برابر خواهد شد با:

$$M = \frac{P}{E}X \quad (3-7)$$

۲- تحلیل و توزیع بار بین شاهتیرهای طولی

منظور سهم باربری هر یک از شاهتیرهای طولی زیر دال از بار مرده و زنده می باشند.

روش های عملی توزیع بار عبارتند از:

الف- روش های آیین نامه ای مبتنی بر اصول استاتیک - نظیر روش AASHTO و نشریه ۳۸۹

در این روش سختی خمشی شاهتیرها مساوی فرض می شود و ضرایب توزیع بر حسب فاصله S معرفی می شود.

ب- روش های دستی دقیق مبتنی بر حل معادلات دیفرانسیل دال ها

در این روش سختی خمشی و پیچشی تیرهای طولی و عرضی، دهانه L و موقعیت نیروی متمرکز در مقطع عرضی در توزیع نیروی دخالت داده می شود اما اثر موقعیت P در طول دهانه منظور نمی شود.

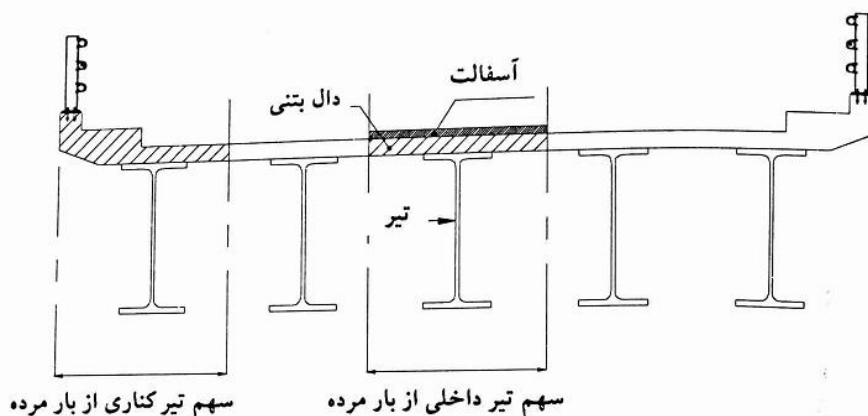
پ- روش های کامپیوتری

روش دقیق توسط اجزای محدود و نرم افزارهایی مانند SAP2000 و CSI Bridge

در این فصل روش آیین نامه ای توزیع و تحلیل عرشه ها و همچنین ضوابط مربوطه ارائه شده است.

۲-۱- توزیع بار مرده بین شاهتیرهای کناری و میانی

در شاهتیرهای کناری و میانی، سهم شاهتیرها از بارهای دائمی مطابق شکل زیر به دست می آید.





۲-۲- توزیع بار زنده بین شاهتیرهای کناری

بار زنده وارد بر تیرهای کناری، عکس العمل بارهای چرخ خواهد بود که با فرض رفتار نمودن دال موجود بین تیرها به صورت دهانه ساده، به دست می آید (شکل ۳-۲۱).
در هیچ حالتی ظرفیت باربری تیر کناری نباید کمتر از تیر داخلی گردد.
در صورتی که تعداد تیرهای طولی ۴ یا بیشتر باشد، کسری از بار ردیف چرخ که بر تیر کناری وارد می شود، نباید از مقادیر زیر کمتر گردد:

$$\begin{aligned} S < 1.8 \text{ m} & \quad \text{برای} \quad \frac{S}{1.68} \\ 1.8 < S < 4.25 \text{ m} & \quad \text{برای} \quad \frac{S}{1.22 + 0.25S} \end{aligned} \quad (3-12)$$

برای S بزرگتر $4/25$ متر، بار زنده وارد بر تیرهای کناری، عکس العمل بارهای چرخ خواهد بود که با فرض رفتار نمودن دال موجود بین تیرها به صورت دهانه ساده، به دست می آید. در روابط، S فاصله مرکز به مرکز تیر کناری با اولین تیر داخلی می باشد.

۳-۲- توزیع بار زنده بین شاهتیرهای میانی

۳-۲-۱- روش نشریه ۳۸۹

در تیرهای طولی میانی اصلی یا فرعی، سهم هر تیر از لنگرهای خمشی ناشی از بار چرخها مطابق جدول زیر تعیین می گردد.

جدول شماره ۱۵-۴-۵-۱-۲- سهم هر تیر از لنگرهای خمشی ناشی از بار چرخ

نوع تیر	پل با یک خط عبور	پل با چند خط عبور
- تیرهای با مقطع I، بتنی یا پیش تنیده	$S/2.1$ ($S \leq 3.0$)	$S/1.7$ ($S \leq 4.2$)
- تیرهای با مقطع T شکل	$S/2.0$ ($S \leq 1.8$)	$S/1.8$ ($S \leq 3.0$)
- تیرهای با مقطع جعبه ای	$S/2.4$ ($S \leq 3.6$)	$S/2.1$ ($S \leq 4.8$)
- تیرهای با مقطع چند جعبه ای	مطابق ضابطه بند ۴-۵-۴-۱۵	

در این جدول S متوسط فواصل تیر مورد نظر از تیرهای دو سمت است.

در مواردی که فاصله S از مقادیر عنوان شده در هر ردیف تجاوز کند، سهم هر تیر از بار چرخها با فرض آنکه دال بین تیرها بصورت یک تیر با تکیه گاه های ساده کار می کند، تعیین می گردد.

۲-۳-۲- روش آشتو قدیم

$$\frac{S}{D} = \text{نسبت سهم تیر داخلی از بار یک ردیف چرخ}$$

S = فاصله بین تیرهای طولی (به متر)

D = عددی برحسب متر که از جدول ۳-۱ به دست می آید. در صورتی که S از عدد داخلی

پرانتر (S_{max}) بزرگتر باشد، از روش توزیع استاتیکی، (شکل ۳-۲۱) برای توزیع بار

چرخ استفاده می شود.

جدول ۳-۱ ضرایب توزیع D بار کامیون بین تیرهای داخلی در عرشه دو عنصری - روش آشتو

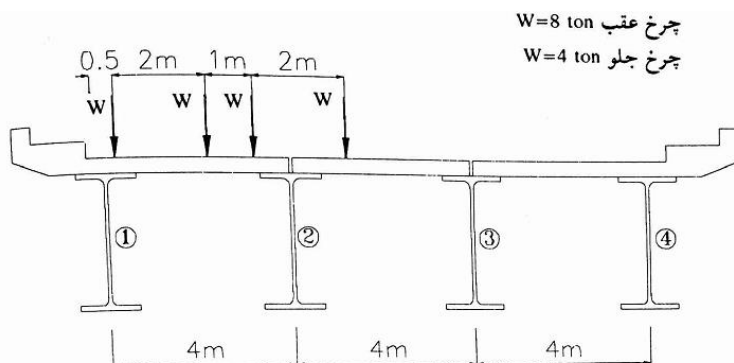
سیستم عرشه		یک خط عبور (D بر حسب متر)	دو یا چند خط عبور (D بر حسب متر)
دال بتنی متکی بر تیرهای پیش ساخته بتن مسلح یا پیش تنیده و تیرهای I فولادی	دال بتنی متکی بر تیرهای پیش ساخته بتن مسلح یا پیش تنیده و تیرهای I فولادی	$D=2.13 (S_{max}=3 \text{ m})^*$	$D=1.68 (S_{max}=4.3 \text{ m})^*$
	دال بتنی متکی بر تیرهای بتنی درجاریز T	$D=1.93 (S_{max}=1.8 \text{ m})^*$	$D=1.83 (S_{max}=3 \text{ m})^*$
	دال بتنی متکی بر تیرهای جعبه ای بتنی (شکل ۳-۱۶)	$D=2.44 (S_{max}=3.7 \text{ m})^*$	$D=2.13 (S_{max}=4.9 \text{ m})^*$
دال فولادی	ضخامت شبکه فولادی $< 100 \text{ mm}$	$D=1.37 (S_{max}=1.83 \text{ m})^*$	$D=1.22 (S_{max}=3.2 \text{ m})^*$
	ضخامت شبکه فولادی $> 100 \text{ mm}$	$D=1.83 (S_{max}=1.83 \text{ m})^*$	$D=1.52 (S_{max}=3.2 \text{ m})^*$

* اگر S از مقدار نشان داده شده در پرانتر تجاوز کند، بار وارد بر تیرها، عکس العمل بارهای چرخ در روی آن شاهتیر خواهد بود با فرض اینکه دال های موجود بین تیرها به صورت تیر ساده عمل نکنند. (توزیع استاتیکی، شکل ۳-۲۱)

۲-۳-۳- توزیع استاتیکی

: در توزیع استاتیکی، دال در حد فاصل شاهتیرها به صورت دهانه ساده مدل می شود. سپس بار کامیون به تعداد خطوط طرح، در بحرانی ترین وضعیت برای تیر مورد نظر، در مقطع عرضی چیده می شود. سپس واکنش تیرهای ساده روی تیرهای طولی به دست می آید. این واکنش همان سهم تیر طولی از بار ردیف چرخ است. مثلاً در شکل فوق آرایش نشان داده شده مربوط به تعیین سهم تیر شماره ۱ از بار ردیف چرخ است.

$$\text{سهم تیر ۱ از بار ردیف چرخ} = \frac{W(3.5+1.5+0.5)}{4} = 1.375 W$$

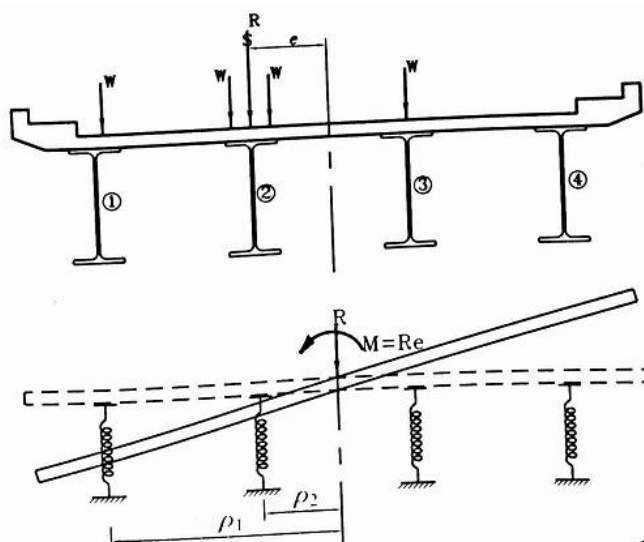




۲-۳-۴- روش کوربن برای توزیع بار بین شاهتیرهای میانی و کناری

اگر تمام تیرها به طور صلب توسط دیافراگم‌ها (تیرهای عرضی) و دال فوقانی به یکدیگر متصل شوند، در حمل بار زنده با یکدیگر مشارکت خواهند داشت. وقتی که بارهای زنده در عرض پل با حداقل فاصله از لبه پیاده‌رو و یکدیگر قرار می‌گیرند، مرکز ثقل بارها نسبت به محور پل دارای خروج از مرکزیت می‌باشد. در اثر این خروج از مرکزیت سهم هر تیر طولی از بار زنده، بسته به فاصله آن از محور پل متفاوت خواهد بود. طبق تئوری کوربن، سهم هر تیر از بار زنده از رابطه زیر به دست می‌آید (شکل ۳-۲۲).

$$R_x = \frac{\sum W}{n} \left[1 + \frac{\sum I}{\sum \rho_x^2 I} (\rho_x)(e) \right]$$



R_x = سهم تیر مورد نظر از بار زنده

I = ممان اینرسی هر تیر

ρ_x = فاصله هر تیر از محور پل

e = خروج از مرکزیت برآیند بار زنده نسبت به محور پل

$\sum W$ = بار کل وارد بر پل

n = تعداد تیرها

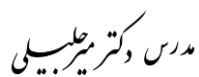
برای آنکه مقدار R_x حداکثر گردد بار باید با حداکثر خروج از مرکزیت در عرض پل قرار گیرد.

شرایط استفاده از روش کوربن عبارتند از:

۱- نسبت دهانه به عرض پل بزرگتر از ۲ و کوچکتر از ۴ باشد.

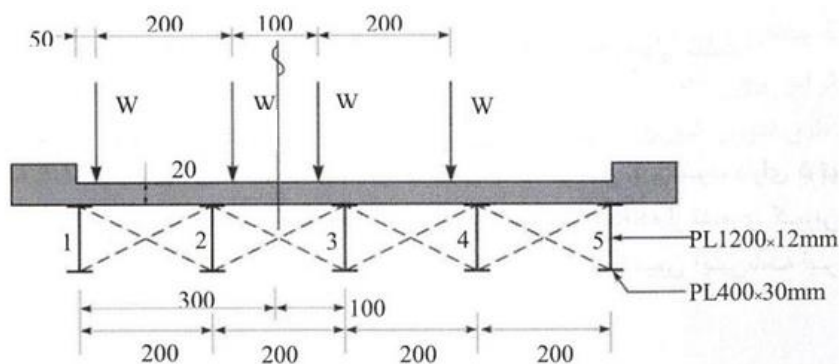
۲- حداقل ۵ تیر عرضی یا دیافراگم متقارن که با تیرهای طولی یکپارچه باشند وجود داشته باشد.

۳- ارتفاع تیرهای عرضی یا دیافراگمها حداقل مساوی ۰/۷۵ ارتفاع تیرهای اصلی باشد.



۳- مثال اول

عرشهٔ پلی با پهنای ۸ متر که برای دو خط ترافیک طراحی می‌شود، دارای ۵ تیر طولی می‌باشد. مطلوب است تعیین سهم تیرهای طولی آن از بار زنده با استفاده از تئوری کوربن و روش آشتو. تمام تیرها دارای ممان اینرسی یکسان می‌باشند (شکل ۳ - ۲۳). از کامیون آیین‌نامهٔ ایران استفاده نماید.



۱- محاسبات دال

D: $\sigma = 0.2 \times 1 \times 2.5 = 0.5 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$

$$D = 0.72 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

مساحت $0.1 \times 1 \times 2.2 = 0.22 \text{ ton}$
m²

$$M_D = \frac{0.72 \times 2^2}{10} \times 2.29 \frac{\text{ton.m}}{m}$$

$$M_L = 0.8 \times \frac{1.64 \times 2 + 1}{16} \times 8 = 1.7 \frac{\text{ton} \cdot \text{m}}{\text{m}}$$

$$M_u = 1.25 M_D + 1.75 \times 1.3 \times M_L = 42.3 \frac{\text{kN.m}}{\text{m}}$$

$$m s \frac{f_y}{0.85 f_c} = 18.8$$

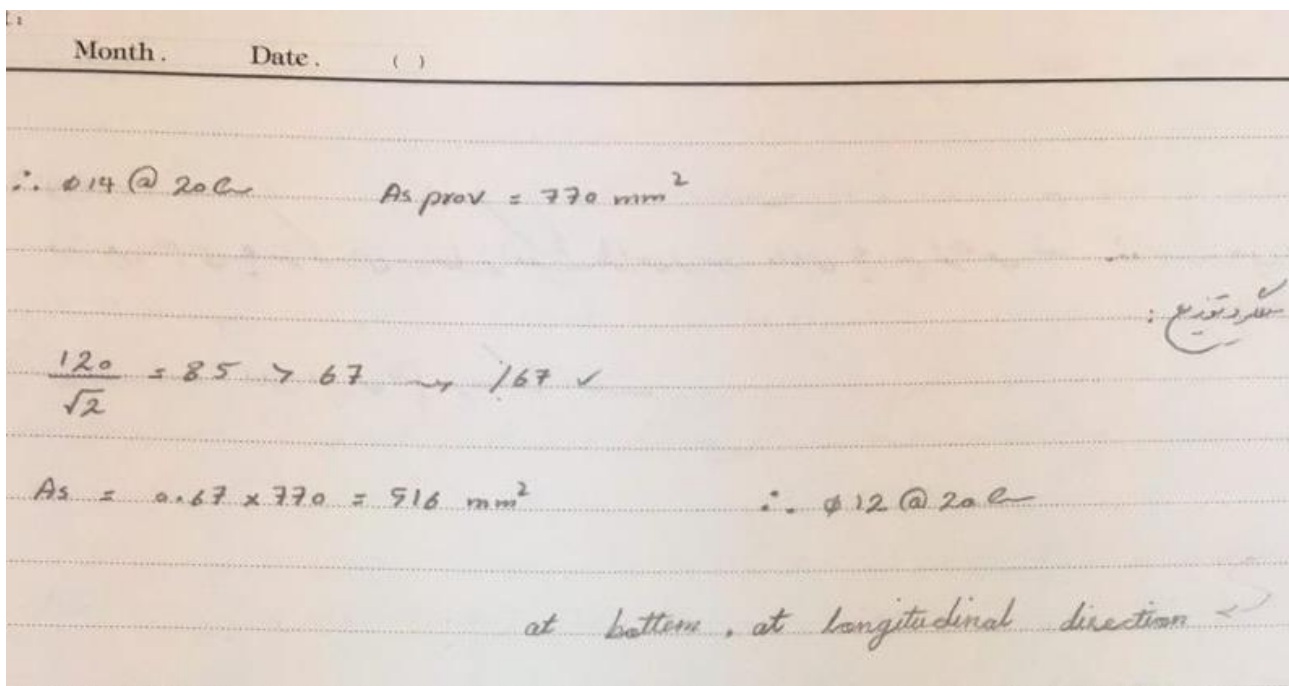
$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{42.3 \times 10^6}{0.9 \times 1000 \times 153^2} = 2 \frac{N}{mm^2}$$

$$p_s = \frac{1}{18.8} \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18.8 \times 2}{400}} \right] \leq 0.00526 > p_{\min} \leq 0.0018 \text{ ? } 0.0035$$

$$A_s = 0.00526 \times 1000 \times 153 = 805 \text{ mm}^2 = A_{s \text{ req}}$$

عم والد قسم با من در حیات مریض

کہ میں نے اس سے ہم پر ایک نعمت و مبارکبت کا مستعار لیا ہے



۲- محاسبات تیرها

حل:

(الف) روش کوربن

دو کامیون را در عرض پل با حداقل فاصله از لبه پیاده رو سمت چپ قرار می دهیم تا حداکثر خروج از مرکزیت و در نتیجه حداکثر عکس العمل در تیرها ایجاد شود.

$$R_x = \frac{\sum W}{n} \left[1 + \frac{\sum I}{\sum \rho_x^2 I} (\rho_x)(e) \right]$$

W برای چرخ عقب ۸ تن و برای چرخ جلو مساوی ۴/۰ تن می باشد.

$$\sum I = 5I \quad \sum \rho_x^2 I = I(4^2 + 2^2 + 4^2 + 2^2) = 40I$$

سهم تیر شماره ۱:

$$R_1 = \frac{4W}{5} \left[1 + \frac{5I}{I(2 \times 4^2 + 2 \times 2^2)} (4)(1) \right] = 1.2W$$

سهم تیر شماره ۲:

$$R_2 = \frac{4W}{5} \left[1 + \frac{5I}{I(2 \times 4^2 + 2 \times 2^2)} (2)(1) \right] = W$$

سهم تیر شماره ۳:

$$R_3 = \frac{4W}{5} [1 + 0] = 0.8W$$

(ب) با استفاده از روابط آیین نامه آستو، سهم هر تیر داخلی یا کناری از بار ردیف چرخ (W) برابر است با:

$$\text{سهم تیر داخلی} = \frac{S}{1.68} W = \frac{2}{1.68} W = 1.2W$$



$$\text{سهم تیر کناری (توزیع استاتیکی)} = W * (2-0.5)/2 = 0.75W$$

این مقدار نباید از ضابطه زیر کمتر باشد.

$$\text{سهم تیر کناری} = \frac{S}{1.22+0.25S} W = \frac{2}{1.22+0.25 \times 2} W = 1.16W$$

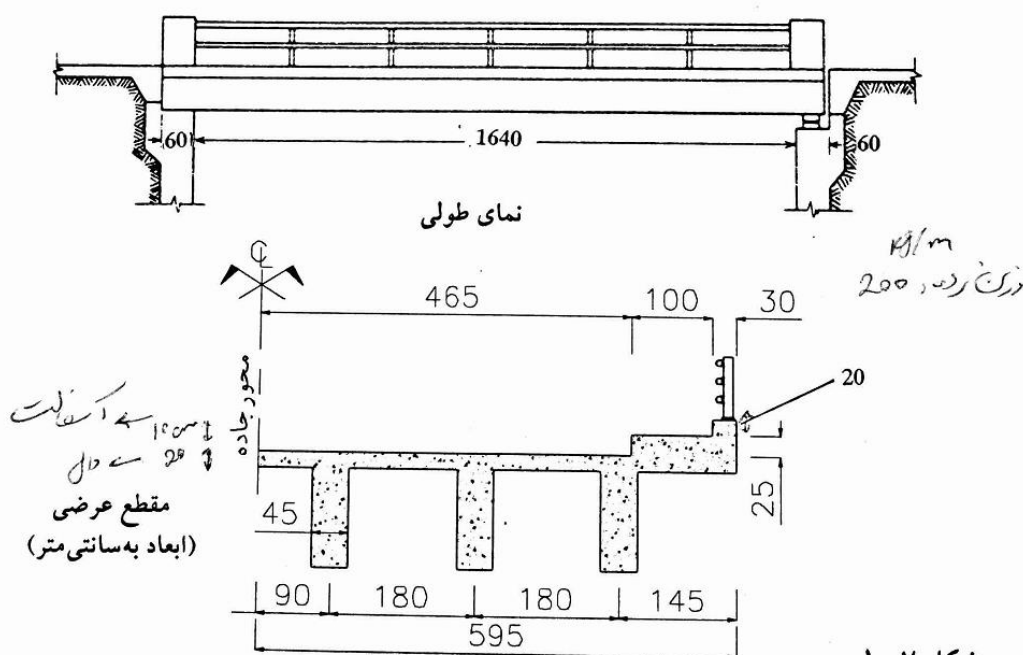
مشاهده می شود که دو روش برای تیر کناری نتایج تقریباً مشابهی داشته و برای تیر میانی، روش کوربن دست پایین می باشد.

۴- مثال دوم

طراحی عرشه پلی با مشخصات نشان داده شده در شکل ۷ - ۱ مورد نظر می باشد. ابعاد هندسی کامل عبورگاه در روی شکل نشان داده شده است. همچنین سایر مشخصات طرح به صورت زیر می باشد:

تعداد شاهتیرهای طولی پل = ۶ عدد

فاصله آزاد بین دو پایه کناری پل = ۱۶/۴ متر



شکل ۷-۱

پهنای آزاد پل بین دو پیاده روی کناری = ۹/۳۰ متر شامل دو خط عبور ۳/۶۵ متری و دوشانه یک متری بارگذاری = آیین نامه ۱۳۹ سازمان مدیریت و برنامه ریزی
نوع میلگرد = میلگرد آجدار با تنش تسلیم ۴۰۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع
نوع بتن = مقاومت مشخصه ۲۸ روزه نمونه استوانه ای مساوی ۲۵۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع
طراحی بر مبنای مشخصات آیین نامه آشتو صورت می گیرد.



حل:

۴-۱- طراحی دال بتنی

۴-۱-۱- محاسبه میلگردهای خمشی (عمود بر شاهتیرها)

با توجه به اینکه دال بتنی به طور یکپارچه با شاهتیرهای طولی بتن ریزی می شود، دهانه دال را می توان مساوی فاصله آزاد (فاصله تودلی) بین شاهتیرهای طولی در نظر گرفت. لیکن در جهت اطمینان، دهانه دال را مساوی فاصله محور به محور شاهتیرهای طولی در نظر می گیریم.

$$S = 1.80 \text{ m}$$

$$0.2 \text{ m} = \text{ضخامت دال بتنی}$$

تعیین بار مرده دال

$$0.2(2.5) = 0.5 = \text{وزن بتن}$$

$$0.1(2.2) = 0.22 = \text{وزن } 10 \text{ سانتی متر قشر آسفالت}$$

$$0.72 \text{ ton/m}^2 = \text{بار کل}$$

لنگر ناشی از بار مرده

$$M(DL) = \frac{qL^2}{10} = \frac{0.72(1.8)^2}{10} = 0.23 \text{ ton.m/m}$$

لنگر ناشی از بار زنده

$$M(LL) = 0.8 \frac{1.64S+1}{16} P = 0.8 \frac{1.64(1.8)+1}{16} 8 = 1.58 \text{ ton.m/m}$$

لنگر ناشی از ضربه

به خاطر کوچکی دهانه، اثر ضربه مساوی ۰/۳ می باشد.

$$M(IL) = 0.3(1.58) = 0.47 \text{ ton.m/m}$$

لنگر طراحی

$$1.25 \times 0.23 + 1.75 \times 1.3 \times 1.58 = 3.88 \text{ ton.m/m}$$

محاسبه میلگردهای خمشی (عمود بر شاهتیرها)



$$m = \frac{f_y}{0.85 f_c} = 18.8 \quad R_{nf} = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{3.88 \times 10^7}{0.9 \times 1000 \times 163^2} = 1.62$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - 2mR_{nf}} \right] = 0.0042$$

$$A_s = 0.0042 \times 1000 \times 163 = 685 \text{ mm}^2$$

$$\text{use } \phi 14 \times 154 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{154}{685} \times 100 = 22.4 \text{ cm}$$

$\therefore \phi 14 @ 22 \text{ cm}$ at top, bottom

۲-۱-۴- میلگردهای توزیع

درصد میلگردهای توزیع (که در این حالت به صورت طولی قرار می گیرند)، نسبت به میلگردهای اصلی برابر است با:

$$\text{درصد میلگردهای توزیع} = \frac{120}{\sqrt{S}} = \frac{120}{\sqrt{1.8}} = 89\% > 67\%$$

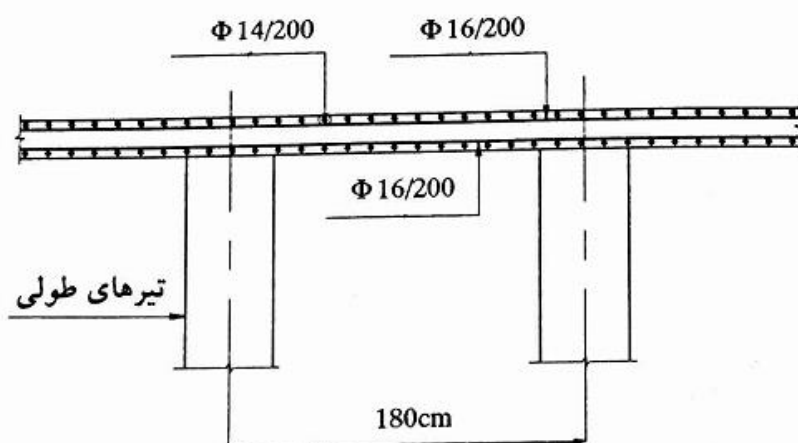
پس این نسبت مساوی ۶۷ درصد در نظر گرفته می شود:

$$A_s = 0.67(7.9) = 5.29 \text{ cm}^2/\text{m}$$

از میلگرد آجدار ۱۴ در هر ۲۰ سانتی متر استفاده می نماییم:

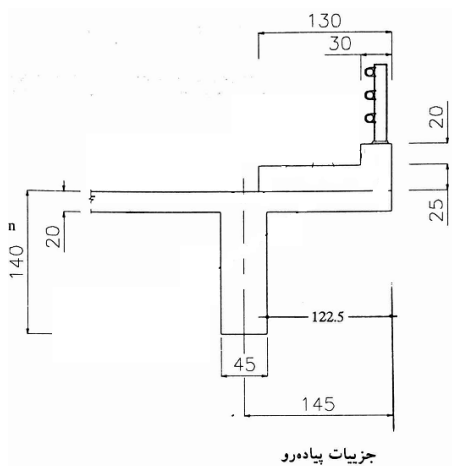
$$A_s = 5 \times 1.54 = 7.7 \text{ cm}^2/\text{m} > 5.29$$

آرایش میلگردهای دال در شکل ۷-۳ نشان داده شده است.





۴-۲- طراحی دال طره پیاده رو



لنگر بار مرده:

$$\begin{aligned} & \{1.225 - 0.15\} \\ & 0.215 = 0.2(1.075) \dots\dots\dots \text{لنگر ناشی از وزن نرده} \\ & 0.47 = 1 \times 0.25(2.5) \frac{1.225^2}{2} \dots\dots\dots \text{لنگر ناشی از وزن بتن پیاده رو} \\ & 0.16 = 0.2 \times 0.3 \times 2.5 \times 1.075 \dots\dots\dots \text{بتن نرده} \\ & 0.375 = 1 \times 0.2(2.5) \frac{1.225^2}{2} \dots\dots\dots \text{لنگر ناشی از وزن دال} \end{aligned}$$

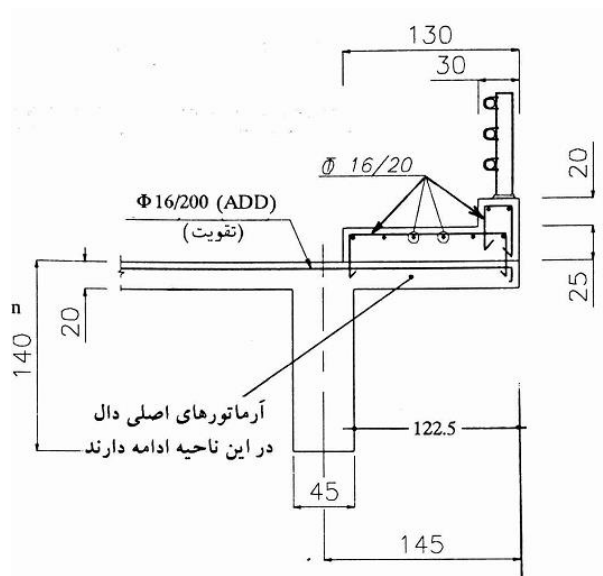
لنگر بار زنده:

عرض توزیع بار متمرکز در دال طره ای مساوی $E = 0.8x + 1.143$ می باشد. همچنین منظور کردن همزمان وزن چرخ کامیون و بار پیاده نیز لازم نمی باشد.

$$\begin{aligned} E &= 0.8 \times 1.225 + 1.143 = 2.12 \text{ m} \\ 2.30 &= 4(1.225)/2.12 \dots\dots\dots \text{لنگر ناشی از بار کامیون}^* \end{aligned}$$

طراحی میلگردهای اصلی (فوقانی عمود بر تیر کناری)

$$\begin{aligned} M_u &= 1.25 M_D + 1.75 \times 1.3 \times M_L = 1.25 \times 1.22 + 1.75 \times 1.3 \times 2.3 = 6.75 \text{ ton.m} \\ R_n &= \frac{6.75 \times 10^7}{0.9 \times 1000 \times 163^2} = 2.8 \quad p = 0.0075 > p_{min} = 0.0018 \text{ و } 0.0035 \\ A_s &= 0.0075 \times 1000 \times 163 = 1222 \text{ mm}^2 \quad 9 \phi 14 = 770 \text{ mm}^2 \text{ provided} \\ A_{s \text{ req}} &= 1222 - 770 = 452 \text{ mm}^2 \\ A_s &= \frac{452}{9} = 90.4 \text{ mm}^2 \\ \therefore & \phi 12 @ 20 \text{ cm at top} \end{aligned}$$



۳-۴- تحلیل شاهتیرهای میانی

شاهتیرهای داخلی عرشه مورد محاسبه، تیرهایی با مقطع T می باشند که عرض بال آنها مساوی فاصله مرکز به مرکز شاهتیرها است. اگر پهنای نشیمن پل مساوی ۰/۶ متر در نظر گرفته شود، دهانه محاسباتی شاهتیر که مساوی فاصله محور به محور دو تکیه گاه عبورگاه روی پایه پل می باشد، مساوی ۱۷ متر به دست می آید. ارتفاع این گونه پل ها برای دهانه ساده چیزی بین $\frac{1}{11}$ الی $\frac{1}{14}$ دهانه می باشد که ارتفاع کل را مساوی $\frac{1}{4}$ متر انتخاب می نمایم که با این انتخاب ارتفاع جان مقطع T مساوی $\frac{1}{2}$ متر به دست می آید. ضخامت جان نیز تابع نیروی برشی و احتیاجات اجرایی است که فعلاً آن را مساوی ۴۵ سانتی متر انتخاب می کنیم.

$$\text{ارتفاع حداقل طبق آشنو} = 1.1(S+3)/18 = 1.1(17+3)/18 = 1.22 \text{ m} < 1.4 \text{ m}$$

۳-۴-۱- تحلیل تیر تحت بار مرده

$$q = 2.5(1.20 \times 0.45 + 1.80 \times 0.2) + 2.2(1.8 \times 0.1)$$

$$q = 2.25 + 0.4 = 2.65 \text{ ton/m}$$

$$R_A = R_B = 2.65(17)/2 = 22.52 \text{ ton}$$

در تکیه گاه:

$$V = 22.52 \text{ ton}$$

$$M = 0$$

در نقطه $\frac{1}{4}$ دهانه ($x = 4.25$)

$$V = 22.52 - 2.65 \times 17/4 = 11.26 \text{ ton}$$

$$M = 22.52(4.25) - 2.65 \times \frac{4.25^2}{2} = 71.78 \text{ ton.m}$$

در وسط دهانه

$$V = 0$$

$$M = \frac{ql^2}{8} = \frac{2.65 \times 17^2}{8} = 95.73 \text{ ton.m}$$



۴-۳-۲- تحلیل تیر تحت بار زنده کامیون

$$\text{ضریب ضربه} = 1.3 - 0.005L = 1.3 - 0.005 \times 17 = 1.22$$

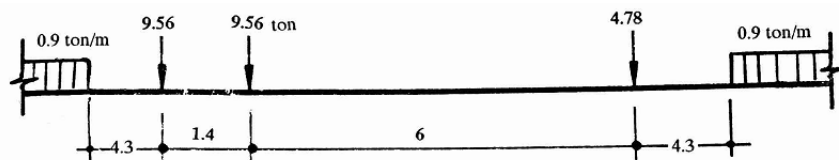
$$\text{سهم تیر داخلی از بار ردیف چرخ} = \frac{S^*}{1.83} = \frac{1.8}{1.83} = 0.98$$

$$\text{سهم تیر داخلی از چرخ عقب با در نظر گرفتن اثر ضربه} = 8(0.98)(1.22) = 9.56 \text{ ton}$$

$$\text{سهم تیر داخلی از چرخ جلو با در نظر گرفتن اثر ضربه} = 4(0.98)(1.22) = 4.78 \text{ ton}$$

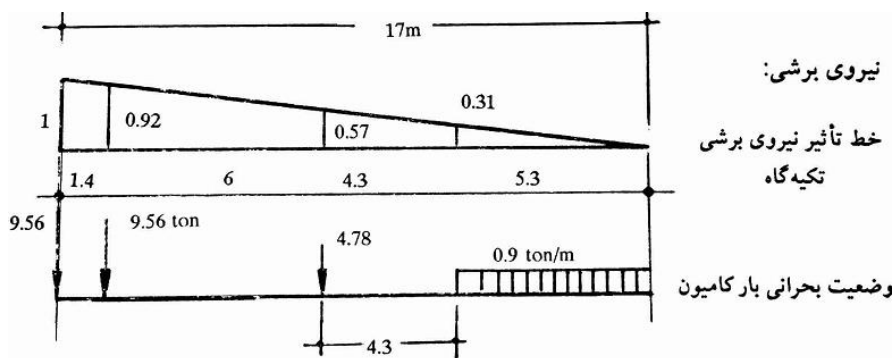
$$\text{شدت بار یکنواخت} = 0.98 \times \frac{1.5}{2} \times 1.22 = 0.9 \text{ ton/m}$$

بنابراین بار زنده کامیون برای تیر فوق به صورت زیر در می آید:



محاسبه برش و لنگر حداکثر در تکیه گاه، یک چهارم دهانه و وسط دهانه:

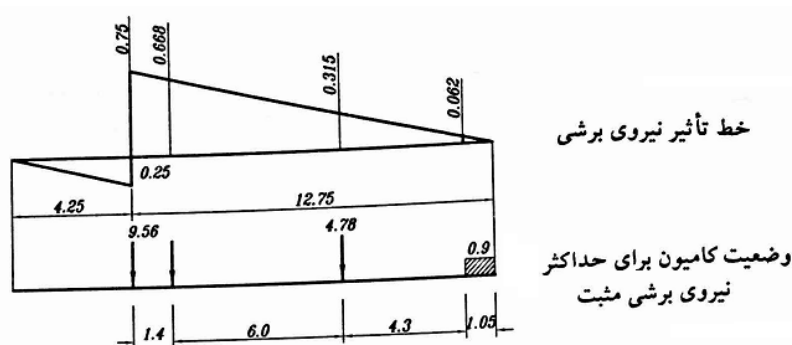
الف) در تکیه گاه



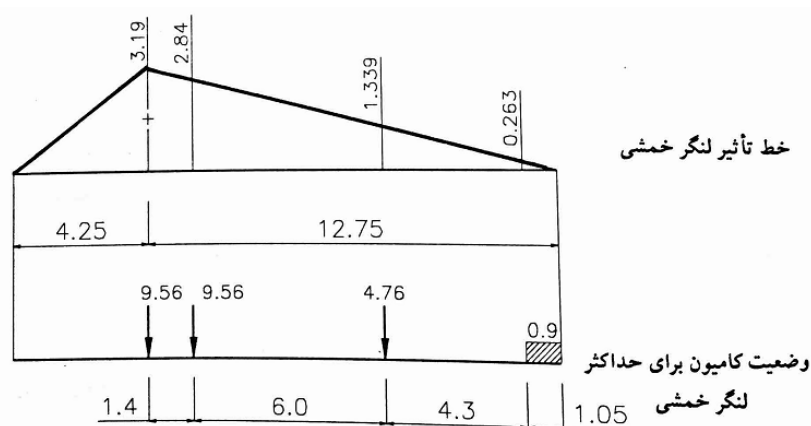
$$V = 9.56 \times 1 + 9.56 \times 0.92 + 4.78 \times 0.57 + \frac{1}{2} \times 0.31 \times 5.3 \times 0.9 = 21.82 \text{ ton}$$

$$M = 0$$

ب) در یک چهارم دهانه

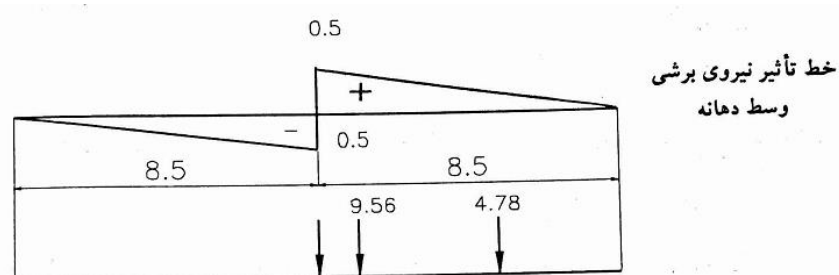


$$V = 9.56(0.75 + 0.668) + 4.78 \times 0.315 + 0.9(0.062 \times 1.05/2) = 15.09 \text{ ton}$$

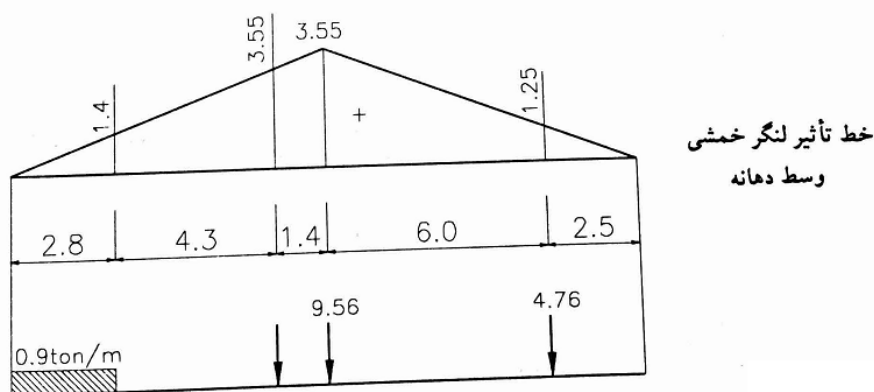


$$M = 9.56(3.19 + 2.84) + 4.76 \times 1.339 + 0.9(0.263 \times 1.05/2) = 64.15 \text{ ton.m}$$

(ج) وسط دهانه



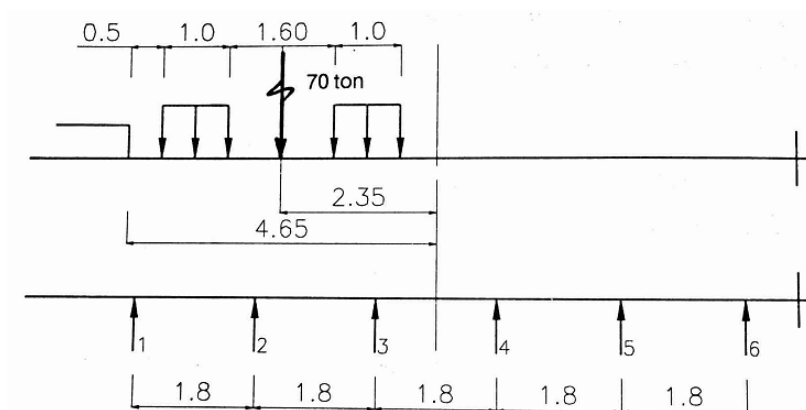
$$V = 9.56 \times 0.5 + 9.56 \times 0.42 + 4.76 \times 0.065 = 9.10 \text{ ton}$$



$$M = 9.56(3.55 + 4.25) + 4.76 \times 1.25 + 0.9 \times (1.4 \times 2.8/2) = 82.28 \text{ ton.m}$$

۳-۳-۴- تحلیل تیر تحت بار زنده تانک

بارگذاری تانک در عرض عرشه به شکل زیر می باشد.



از آنجا که روش آیین نامه ای برای تعیین سهم شاهتیرهای طولی از بار زنده تانک وجود ندارد، در اینجا برای به دست آوردن سهم هر یک از تیرهای میانی از بار زنده تانک از روش کوربن استفاده می کنیم.

$$R = \frac{\Sigma W}{n} \left[1 + \frac{\Sigma I}{\Sigma \rho_x^2 I} (\rho_x)(e) \right]$$

بار تانک با حداکثر خروج از مرکزیت مطابق شکل ۷-۱۲ قرار داده می شود:

$$n=6$$

$$\Sigma I = 6I$$

$$\Sigma \rho_x^2 I = I(0.9^2 + 2.7^2 + 4.5^2) = 56.7I$$

$$e = 2.35$$

$$\rho_1 = 4.5 \quad \rho_2 = 2.7 \quad \rho_3 = 0.9$$

$$R = \frac{\Sigma W}{6} \left[1 + \frac{6I}{56.7I} (\rho)(2.35) \right] = \frac{\Sigma W}{6} (1 + 0.25 \rho)$$

$$R_1 = 0.36 \Sigma W, \quad R_2 = 0.28 \Sigma W, \quad R_3 = 0.21 \Sigma W$$



بنابراین سهم تیر داخلی شماره ۲ از سایر تیرهای داخلی بیشتر بوده و از این جهت ضریب ۰,۲۸ را بدین منظور بر می گزینیم.

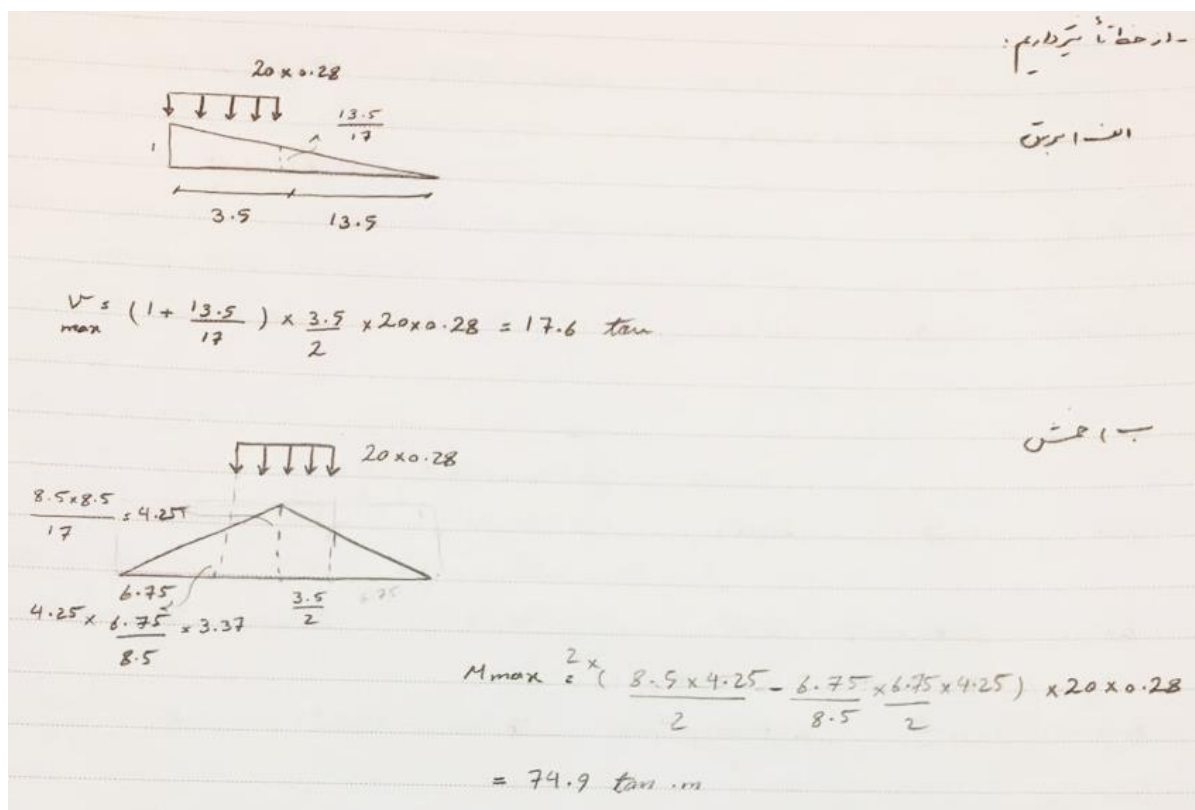
برای تعیین لنگر حداکثر (در وسط دهانه) و برش حداکثر (در تکیه گاه) می توانیم از مفهوم خط تاثیر استفاده کنیم. در این مثال از جدول حداکثر لنگر و برش ارائه شده در فصل قبل برای دهانه ۱۷ متر برای بار تانک استفاده می کنیم.

$$M=266.88 \quad V=62.97$$

برای تیر شماره ۲ داریم:

$$\text{وسط } M=0.28 \times 266.88 = 74.73 \text{ ton.m}$$

$$V=0.28 \times 62.97 = 17.63 \text{ ton}$$



مشاهده می شود که بار کامیون نسبت به تانک کنترل کننده است. از این به بعد برای محاسبه نیروهای طراحی از نتایج تحلیل بار زنده کامیون استفاده می کنیم.



۴-۴- تحلیل شاهتیرهای کناری

۴-۴-۱- تحلیل تیر تحت بار مرده

بار مرده شامل وزن تیر، دال بتنی و پیاده‌رو و نرده‌های کناری و عابر پیاده:

$$\begin{aligned}
 \text{وزن دال} &= (0.9 + 1.45) \times 0.2 \times 2.5 = 1.18 \\
 \text{اضافه بتن نرده} &= 0.2 \times 0.3 \times 2.5 = 0.15 \\
 \text{وزن نرده} &= 0.15 \\
 \text{وزن اضافه بتن پیاده‌رو} &= (0.25 \times 1.3 - 3 \times \pi \times \frac{0.15^2}{4}) \times 2.5 = 0.68 \\
 \text{وزن جان} &= 0.45 \times 1.2 \times 2.5 = 1.35 \\
 \text{وزن اسفالت} &= 1.05 \times 0.1 \times 2.2 = 0.23 \\
 \text{بار پیاده‌رو} &= 0.2 \\
 \hline
 &= 3.94 \text{ ton/m}
 \end{aligned}$$

$$\frac{\text{بار مرده تیر کناری}}{\text{بار مرده تیر داخلی}} = \frac{3.94}{2.65} = 1.49$$

با ضرب نیروهای برشی و لنگرهای خمشی ناشی از بار مرده تیر داخلی در عدد ۱/۴۹، اعداد

مربوط به تیر کناری به دست می‌آید.

۴-۴-۲- تحلیل تیر تحت بار زنده کامیون

غیر از سهم تیر از بار زنده، همه چیز مشابه تیر میانی است.

$$\text{سهم تیر کناری از بار ردیف چرخ} = \frac{S}{1.68} = \frac{1.8}{1.68} = 1.07$$

$$\frac{\text{بار زنده تیر کناری}}{\text{بار زنده تیر داخلی}} = \frac{1.07}{0.98} = 1.09$$

با ضرب نیروهای برشی و لنگر خمشی ناشی از بار زنده تیر میانی در عدد ۱/۰۹، اعداد

مربوط به تیر کناری به دست می‌آید.

۴-۴-۳- تحلیل تیر تحت بار زنده تانک

با توجه به نتایج روش کوربن برای تیر شماره ۱ که در بند قبلی محاسبه گردید، لنگر و برش حداکثر برابر است با:

$$M = 0.36(266.88) = 96.08 \text{ ton.m}$$

$$V = 0.36(62.97) = 22.67 \text{ ton}$$

مشاهده می‌شود که برای تیر کناری، بار زنده تانک کنترل کننده می‌باشد.



موقعیت	تیر اول				تیر دوم			
	Vmax		Mmax		Vmax		Mmax	
کامین	کامین	کامین	کامین	کامین	کامین	کامین	کامین	کامین
0.6	21.82	17.63	0	0	23.78	22.96	0	0
1/4 دهانه	15.09	—	64.15	—	16.45	—	69.92	—
در سطح دهانه	9.1	—	82.1	74.7	9.92	—	84.49	95.62

مشاهده می شود که تیر کناری نسبت به تیر میانی کنترل کننده است.

۴-۵ طراحی شاهتیر کناری

موقعیت	تیر میانی			نسبت بارهای کناری به میانی
	MD	ML+I	1.25MD + 1.75ML	
کامین	0	0	0	
1/4 دهانه	106.95	69.92	256	$1.09 = \frac{1.07}{0.98}$ (بارهای کناری زنده)
در سطح دهانه	142.64	95.62	349	$1.49 = \frac{3.94}{2.65}$ (بارهای کناری مرده)
تیر کناری				
موقعیت	تیر کناری			نسبت بارهای کناری به میانی
	VD	VL+I	1.25VD + 1.75VL+I	
کامین	33.55	23.78	83.59	بارهای زنده x نسبت بارهای کناری به میانی
1/4 دهانه	16.75	16.45	49.76	بارهای مرده x نسبت بارهای کناری به میانی
در سطح دهانه	0	9.92	17.36	



طراح برای برش:

$$V_u = 83.55 \text{ ton}$$

$$\phi V_c + \phi V_s > V_u \rightarrow V_s > \frac{V_u}{\phi} - V_c$$

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{f'_c} b_w d = \frac{1}{6} \times \sqrt{25} \times 450 \times (1400 - 70) = 490 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{A_v f_{yt} d}{s} \rightarrow V_s = \frac{A_v \times 340 \times 1330}{s}$$

$$\frac{835.5}{0.75} < 490 + \frac{A_v \times 452.5}{s} \rightarrow \frac{A_v}{s} = 1.38$$

$$\phi 10 = 78.5 \text{ mm}^2 \rightarrow A_v = 2 \times 78.5 = 157 \text{ mm}^2$$

$$\frac{157}{s} = 1.38 \rightarrow S_{req} = 113 \text{ mm} \rightarrow S_{prov} = 100 \text{ mm}$$

$$\therefore \phi 10 @ 100 \text{ mm} \rightarrow \frac{d L}{4} = \frac{1330}{4} = 332 > 100$$

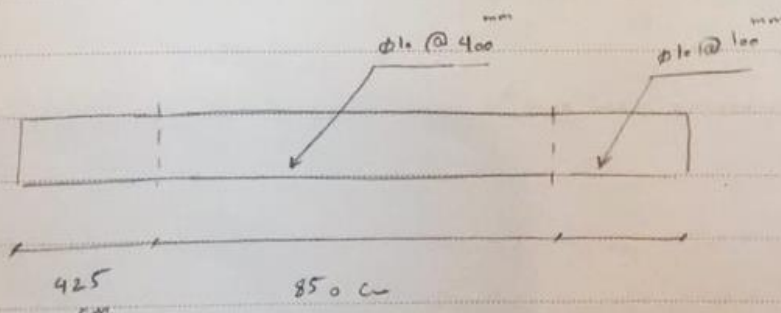
اگر بخواهیم طرح جدید شد برای $\frac{1}{4}$ دهانه نیز طراح برش تکرار شود.

$$V_s = \frac{497.6}{0.75} - 490 = 173.5 \text{ kN}$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{173.5 \times 10^3}{340 \times 1330} = 0.38$$

$$S = \frac{2 \times 78.5}{0.38} = 413 \text{ mm} < S_{max} = \frac{d}{2} = 666 \text{ mm}$$

use $\phi 10 @ 400 \text{ mm}$





طراحی عرشه

در سطح عرشه $M_u = 3450 \text{ KN} \cdot \text{m}$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{3450 \times 10^3}{0.9 \times 450 \times 1330^2} = 4.82$$

چون R_n کمتر از $R_{n, \text{max}}$ است

$$\rho = \frac{1}{18.8} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18.8 \times 4.82}{400}} \right] = 0.0138 > 0.0035$$

$$A_s = \rho b d = 0.0138 \times 450 \times 1330 = 8259 \text{ mm}^2$$

$$A_{s32} = 804 \text{ mm}^2$$

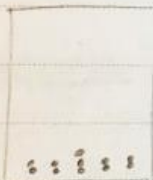
$$n = \frac{A_s}{A_{s32}} = \frac{8259}{804} = 10.2$$

11 عدد میزنیم

use 11 $\phi 32$

$$l = 1330 - 30 = 1300 \text{ mm}$$

این در باره بار $l = 1300$ طاق و کنه ل ستور



$$R_n = 9 \quad \rho = 0.0146 \quad A_s = 8963 \text{ mm}^2$$

$$n = 10.5 < 11 \quad \text{ok}$$

$$M_u = 2560 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

طاق برآ $\frac{1}{4}$ دهانه

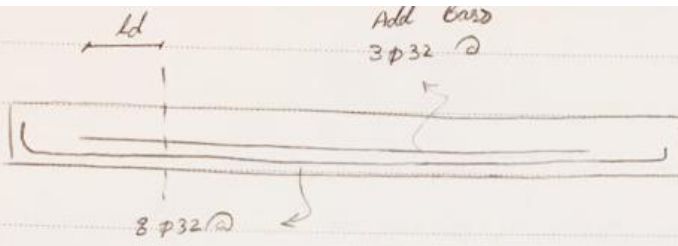
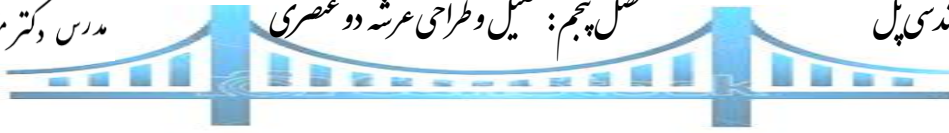
$$R_n = \frac{1}{18.8} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 3.74 \times 18.8}{400}} \right] = 0.01$$

$$A_s = 0.01 \times 450 \times 1300 = 6100 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{6100}{804} = 7.6$$

8 عدد





کار بار مرده

$$P_{min} = 0.0035$$

$$A_{smin} = 0.0035 \times 450 \times 1400 = 2205 \text{ mm}^2$$

$$\phi 22 = 380 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{2205}{380} = 5.8 \sim 6$$

عدد

$$l_d = \max(12d_b, d, 50d)$$

تأسیس طول محاسب

نکته: وقتی محاسبه ریاضیاتی می‌دهد که تیرگی بیش از ۱۰٪ باشد