

ISIRI
11919
1st. edition



راه آهن - توصیه‌هایی برای طراحی خستگی
پل‌های بتنی پیش تنیده و مسلح راه آهن

**Railway -Recommendations for the fatigue
design of railway bridges in reinforced and
prestressed-concrete**

ICS:93.040

بهنام خدا

آشنایی با مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفه تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به عهده دارد.

تدوین استاندارد در حوزه های مختلف در کمیسیون های فنی مرکب از کارشناسان مؤسسه^{*} صاحب نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می شود و کوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانه صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف-کنندگان، صادرکنندگان و واردکنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان های دولتی و غیر دولتی حاصل می شود. پیش نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی نفع و اعضای کمیسیون های فنی مربوط ارسال می شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادها در کمیته ملی مرتبط با آن رشتہ طرح و در صورت تصویب به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می شود.

پیش نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان های علاقه مند و ذیصلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهییه می کنند در کمیته ملی طرح و بررسی و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می شود که بر اساس مفاد نوشته شده در استاندارد ملی ایران شماره ۵ تدوین و در کمیته ملی استاندارد مربوط که مؤسسه استاندارد تشکیل می دهد به تصویب رسیده باشد.

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران از اعضای اصلی سازمان بین المللی استاندارد (ISO)^۱ کمیسیون بین المللی الکترونیک (IEC)^۲ و سازمان بین المللی اندازه شناسی قانونی (OIML)^۳ است و به عنوان تنها رابط^۴ کمیسیون کدکس غذایی (CAC)^۵ در کشور فعالیت می کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی های خاص کشور، از آخرین پیشرفتهای علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین المللی بهره گیری می شود.

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران می تواند با رعایت موازنی پیش بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و / یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری نماید. مؤسسه می تواند به منظور حفظ بازارهای بین المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه بندی آن را اجباری نماید. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده کنندگان از خدمات سازمانها و مؤسسات فعال در زمینه مشاوره، آموزش، بازرگانی، ممیزی و صدور گواهی سیستم های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست محیطی، آزمایشگاه ها و مراکز کالیبراسیون (واسنجی) وسائل سنجش، مؤسسه استاندارد این گونه سازمانها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامه تأیید صلاحیت به آن ها اعطا و بر عملکرد آنها نظارت می کند. ترویج دستگاه بین المللی یکاهما، کالیبراسیون (واسنجی) وسائل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این مؤسسه است.

* مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

1- International organization for Standardization

2 - International Electro technical Commission

3- International Organization for Legal Metrology (Organization Internationale de Métrologie Legale)

4 - Contact point

5 - Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

راه آهن - توصیه‌هایی برای طراحی خستگی پل‌های بتُنی پیش‌تنیده شده و مسلح راه آهن

سمت

مرکز تحقیقات راه آهن

رئیس

سیاحی سحرخیز، سیروس
(لیسانس مهندسی شیمی)

دبیران

سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

امینی، فاطمه

(لیسانس مهندسی مکانیک)

شرکت بهبود کیفیت کاوه

امینی، مصطفی

(لیسانس مهندسی مکانیک)

اعضاء (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

شرکت قطارهای مسافری رجا

آشفته، رویا السادات

(فوق لیسانس مهندسی مکانیک)

شرکت خط و ابنيه راه آهن جمهوری اسلامی ایران

پناهی، علی

(لیسانس زبان انگلیسی)

شرکت خط و ابنيه راه آهن جمهوری اسلامی ایران

ترابزاده، علیرضا

(لیسانس مهندسی مکانیک)

عضو هیئت علمی دانشگاه تهران

حسینی، سیدپرویز

(فوق لیسانس متالوژی)

شرکت واگن پارس

عابدی، مهرنوosh

(لیسانس مهندسی راه آهن)

شرکت بهبود کیفیت کاوه

کاشی زاده، مليحه

(لیسانس مهندسی بهداشت محیط)

شرکت قطارهای مسافری رجا

نوروزی، محمود

(دکترای مهندسی مکانیک)

فهرست مطالب

۱	۱ هدف و دامنه کاربرد
۱	۲ مراجع الزامی
۱	۳ دستورالعمل های اصلی - نشانه گذاری - واحدها
۱	۱-۳ حروف بزرگ
۲	۲-۳ حروف کوچک
۲	۳-۳ حروف کوچک یونانی
۲	۴-۳ حروف یونانی بزرگ
۲	۵-۳ شاخص های عمومی
۳	۴ کلیات
۳	۱-۴ اصول
۳	۲-۴ عوامل و ترکیب عوامل
۴	۳-۴ تعیین تنش ها و نیروهای داخلی
۶	۵ بررسی خستگی فولاد آرماتور (تقویت کننده در بتن مسلح و بتن پیش تنیده)
۶	۱-۵ اصول
۶	۲-۵ خستگی - استحکام
۸	۳-۵ تایید جزئی
۸	۴-۵ تایید کلی
۹	۶ تاییدخستگی بتن
۹	۱-۶ اصول
۹	۲-۶ تایید بتن تحت فشار
۱۰	۳-۶ تایید بتن در برش
۱۱	۷ تشریح مقاومت خستگی
۱۱	۸ ضرایب اصلاحی
۱۱	۱-۸ مسلح کردن و پیش تنیده کردن فولاد
۱۵	۲-۸ بتن تحت فشار

پیش گفتار

استاندارد راه آهن – توصیه‌هایی برای طراحی خستگی پل‌های بتنی پیش‌تنیده و مسلح راه آهن که پیش نویس آن در کمیسیون‌های مربوط توسط (شرکت بهبود کیفیت کاوه) تهیه و تدوین شده و در سیصد و هشتاد و هشتمین اجلاس کمیته ملی استاندارد خودرو و نیرومحرکه مورخ ۸۸/۵/۱۸ مورد تصویب قرار گرفته است، اینک به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در موقع لزوم تجدیدنظر خواهد شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدیدنظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی استفاده کرد.

منبع و مأخذی که برای تهیه این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

UIC 774 – 1R – 2005: Recommendations for the fatigue design of railway bridges in reinforced and prestressed – concrete

راه آهن - توصیه هایی برای طراحی خستگی پل های بتنی پیش تنبیده شده و مسلح راه آهن

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد ارائه توصیه هایی برای طراحی خستگی پل های بتنی پیش تنبیده و مسلح راه آهن می باشد. این استاندارد در مورد پل های بتنی پیش تنبیده و مسلح در خطوط راه آهن کاربرد دارد.

۲ مراجع الزامی

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد به آنها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب آن مقررات جزئی از این استاندارد محسوب می شود. در مورد مراجع دارای تاریخ چاپ و / یا تجدیدنظر، اصلاحیه ها و تجدیدنظرهای بعدی این مدارک مورد نظر نیست. معهذا بهتر است کاربران ذینفع این استاندارد امکان کاربرد آخرین اصلاحیه ها و تجدیدنظرهای مدارک الزامی زیر را مورد بررسی قرار دهند. در مورد مراجع بدون تاریخ چاپ و / یا تجدیدنظر، آخرین چاپ و / یا تجدید نظر آن مدارک الزامی ارجاع داده شده مورد نظر است. استفاده از مراجع زیر برای کاربرد این استاندارد الزامی است :

2-1) UIC 702.static loading diagrams to be taken into consideration for the design of rail-carring structures on lines used by international service.

2-2) UIC776-1. Loads to be considered in railway bridge design

2-3) ENV 1992-2: 1996EUrocode 2: design of concrete structures-part2: concrete bridges.

2-4) Pr En 1992-1.Eurocode2: design of concrete structures-part1: general rules and rules for buildings.

2-5) ENV1991-3: Eurocod1: Basis of design and actions on structures – part3: Traffic loads on bridges.

۳ دستورالعمل های اصلی - نشانه گذاری - واحد ها

۳-۱ حروف بزرگ

A = مساحت

D = قطر

G = عامل دائمی

تعداد سیکل ها = N

پیش تنبیدگی = P

عامل متغیر = Q

استحکام = R

نیروی داخلی = S

دما = T

نیروی برشی = V

۲-۳ حروف کوچک

استحکام ماده = f

۳-۳ حروف کوچک یونانی

ضریب ایمنی = γ

ضریب کاهش = ζ

ضریب افزایش = η

ضریب اصلاحی = λ

تنش عادی = σ

تنش برشی = τ

نسبت استحکام چسبندگی = ξ

۴-۳ حروف بزرگ یونانی

تفاضل = Δ

زاویه انحراف تیرهای فشاری = Θ

قطر = ϕ

ضریب دینامیک = Φ

۵-۳ شاخص های عمومی

بن = C

طراحی = d

خستگی = fat

مشخصه = k

پیش تنبیدگی = p

فولاد = s

۴ کلیات

۱-۴ اصول

هنگامی که پل در معرض تعداد زیادی از سیکل باری قرار گیرد، عناصر مسلح و پیش تنیده پل ممکن است متحمل خرابی رو به رشد در آماتور بندی شود یا بتون سازه با وجود تنش اعمالی پایین تر از استحکام ایستایی، دچار گسیختگی گردد. این پدیده خستگی نامیده می شود.

مقاومت پل های راه آهن در برابر خستگی باید مورد بررسی قرار گیرد. هدف از بررسی اینمی در برابر خستگی، نشان دادن این مطلب است که عوامل خستگی بارهای ترافیکی ریل، به اینمی پل های راه آهن در طول مدت عمر مفید آن ها آسیب نرسانند.

بررسی اینمی در برابر خستگی باید از روی ظرفیت تحمل اجزا دیگر و به صورت جداگانه برای بتون و فولاد صورت گیرد.

در ابعاد بزرگ، می توان از آسیب ناشی از خستگی بوسیله پیروی از قوانین جزئیات آرماتوربندی که در بند ۷ آورده شده جلوگیری کرد. آشکار است که، پس از بررسی خستگی نیز باید این مقررات در پل رعایت شود.

به طور کلی، انتظار می رود خستگی در موارد زیر بروز کند:

- عناصر ساختمانی بتنه پیش تنیده شده و بتنه مسلح که در آن نسبت نیروهای داخلی متغیر به نیروهای ثابت بالا است.
- اتصالات مکانیکی یا جوش خورده در آرماتور بندی بتون پیش تنیده و اتصالات بدست آمده از طریق جفت کردن (کوپلینگ) آرماتوربندی های پیش تنیده، بویژه در نقاطی که در معرض دامنه تنش بسیار متغیر قرار دارند.

به طور کلی، بررسی خستگی برای عناصر پل که در آنها ضربی دینامیک ضروری نیست، مانند پل های با پوشش زمینی یا لایه مناسب از دیگر مواد میرا کننده، پایه پل ها و تابلیه ها^۱ که صلب و محکم به قسمت های رو بنایی متصل نشده اند (با استثنای دال های بتونی^۲ و دیواره تابلیه ها و دیواره های نگهدارنده بالاست) و فونداسیون ها، ضرورتی ندارد.

۲-۴ عوامل و ترکیب عوامل

۱-۲-۴ عوامل خستگی

عوامل خستگی اساساً بوسیله بارهای ترافیکی ایجاد می گردد.
تنش ها و نیروهای داخلی مربوطه باید طبق مدل بار ۷۱ (کلاس.k) استاندارد UIC702 و ضربی دینامیک Φ آنها باید مطابق با استاندارد UIC776-1 محاسبه شوند.
برای عناصر مشخصی از پل، ممکن است از پل، ممکن است لازم باشد که نیروهای داخلی ناشی از تغییر در سرعت باد و یا جهت آن نیز در نظر گرفته شود.

1)abutments

2)slabs

۲-۲-۴ عوامل دیگری که جهت محاسبه تنش در نظر گرفته می‌شود این عوامل از قرار زیر می‌باشد:

- عوامل دائمی (شامل استقرار تکیه گاهها، در موارد کاربردی).
- پیش تنبیدگی،
- دما

۳-۲-۴ ترکیب عوامل

ترکیب عوامل زیر باید مورد توجه قرار گیرد:

- برای بررسی ساده شده (به بند ۳-۵ و بند ۱-۲-۶ مراجعه گردد)

$$S_{d,fat} = S \left(\sum_{j \geq 1} G_{Kj} + P_k + 0.8Q_{k1} + 0.6T_k \right) \quad (1)$$

- برای بررسی های کلی (به بند ۴-۵ و ۲-۲-۶ مراجعه گردد)

$$S_{d,fat} = S \left(\sum_{j \geq 1} G_{Kj} + P_k + Q_{k1} + 0.8T_k \right) \quad (2)$$

که در اینجا: T_k ، P_k ، G_{kj} ، Q_{k1} ، به ترتیب مقادیر مشخصه عوامل دائمی (شامل هرگونه استقرار تکیه گاه)، پیش تنبیدگی، عوامل خستگی متغیر و دما می‌باشند.

یادآوری - در غیاب روش دقیق تر برای بررسی در اتصالات چفت شده، کوچکترین مقدار مشخصه نیروی پیش تنبیدگی عامل در جفت کننده‌ها باید با اعمال ضریب ۰/۸۵ کاهش یابد.

۴-۳ تعیین تنش‌ها و نیروهای داخلی

- تنش‌ها و نیروهای داخلی باید با فرض وجود مقاطع عرضی ترک خورده و بدون در نظر گرفتن استحکام کششی بتن، ولی با سازگاری رضایت بخش کرنش‌ها، و بخش‌های باقیمانده سطوح تعیین شوند.
- تنش‌ها و نیروهای داخلی باید با استفاده از مدل‌های الاستیک خطی در تمامی عناصر ساختمانی مورد نظر تعیین شوند. در نواحی ترک خورده، می‌توان سختی کمتری را در نظر گرفت.
- تاثیر رفتار متفاوت چسبندگی فولاد پیش تنشی و مسلح باید با افزایش تنش در فولاد مسلح بوسیله محاسبه با ضرایب زیر و با فرض وجود چسبندگی کامل، مد نظر قرار گیرد.

$$\eta = \frac{A_s + A_p}{A_s + A_p \sqrt{\xi \phi_s / \phi_p}} \quad (3)$$

که در آن :

A_s : سطح مقطع فولاد مسلح

A_p : سطح مقطع فولاد پیش تنیده

ϕ_s : بزرگترین قطر میلگرد

ϕ_p : قطر معادل فولاد پیش تنیده

$\phi_p = 1/6\sqrt{A_p}$ برای کابل های چند رشته ای

$\phi_p = 1/75\phi_{wire}$ برای رشته های ۷ سیمی تکی

$\phi_p = 1/20\phi_{wire}$ برای رشته های ۳ سیمی تکی

۷: نسبت استحکام چسبندگی بین فولاد پیش تنی - چسبیده و فولاد مسلح - چسبیده در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱ - نسبت استحکام چسبندگی بین فولاد تنی - چسبیده و مسلح - چسبیده

پس تنیده	پیش تنیده	فولاد پیش تنیده
۰/۳	-	سیم ها و میله های صاف
۰/۵	۰/۶	رشته ها
۰/۶	۰/۷	سیم های دندانه ای
۰/۷	۰/۸	میله های دنده دار

- وقتی اثرات کار ناشی از برش با استفاده از روش انحراف تیر متغیر محابیه می شوند، انحراف تیرهای فشاری Θ_{fat} را می توان مطابق معادله زیر بدست آورد:

$$\tan \Theta_{fat} = \sqrt{\tan \Theta} \leq 1.0 \quad (4)$$

که در آن :

Θ زاویه تیرهای فشاری بتن نسبت به محور تیر که در مرحله طراحی برای برش در حالت حدی نهایی فرض شده است، می باشد.

- در سازه های بتونی پیش تنیده با میله های چسبیده، تنش ها را تنها می توان با شناسایی نیروی پیش تنیدگی واقعی محاسبه کرد. اگر ممان ناشی از عامل خستگی کوچکتر از ممان تنش گیری مقطع عرضی باشد، محدوده تنش، کوچک باقی می ماند. در حالت وجود عناصر

- نیمه پیش تنیده با میله های چسبیده شده، تنش ها در میله ها وقتی ممان تنش گیری افزایش می یابد، به طور قابل توجهی بالا می رود.
- وقتی پیش تنیدگی با میله های نچسبیده صورت می گیرد، تنش ها باید به صورت تکراری محاسبه شوند.

۵ اعتبار خستگی فولاد آرماتور (تقویت کننده) در بتن مسلح و بتن پیش تنیده

۱-۵ اصول

ایمنی در برابر خستگی فولاد مسلح در بتن مسلح و بتن پیش تنیده در صورتیکه معادله زیر برقرار باشد، ثابت شده است:

$$S_{d.fat} = \Delta\sigma_s(Q_{fat}) \leq \frac{\Delta\sigma_{RSK}(N^*)}{\gamma_{sfat}} = R_{d.fat} \quad (5)$$

که در آن :

$S_{d.fat}$: مقدار اثر خستگی طراحی

$\Delta\sigma_s(Q_{fat})$: محدوده تنش در فولاد تحت تاثیر عوامل خستگی

$\sigma\Delta_{RSK}(N^*)$: محدوده تنش تحت سیکل های N^* بدست آمده منحنی های S-N

$R_{d.fat}$: مقدار استحکام خستگی طراحی

γ_{sfat} : ضریب ایمنی نسبی برای فولاد

به طور کلی، خستگی - ایمنی باید با استفاده از روش ساده شده اشاره در بند ۳-۵ محاسبه شود.
اگر با بررسی ساده شده ایمنی خستگی ثابت نشود، باید یک بررسی کلی مطابق با بند ۴-۵ انجام شود.

مقررات زیر برای بررسی خستگی برای تمامی انواع آرماتورها اعمال می شود.

۲-۵ خستگی - استحکام

انواع رایج پیش تنیدگی و تقویت مطابق با استحکام - خستگی $\Delta\sigma_{RSK}$ ، بر حسب MPa برای N^* تعداد از سیکل های بار، به چند دسته خستگی تقسیم می شوند. (جدول ۲)

جدول ۲ - دسته بندی خستگی برای فولاد پیش تنیده و تقویت کننده

N^* در سیکل های $\Delta\sigma_{RSK}$	توان تنش		N^*	نوع آرماتور بندی برای بتن مسلح
	K_2	K_1		
۱۶۲/۵	۹	۵	10^6	میله های صاف و خمیده ^(۱)
۵۸/۵	۵	۳	10^7	میله های جوش خورده توسط ^(۲) flash-butt جوش
۳۵	۵	۳	10^7	وسایل تابیدن ^(۲)

زیرنویس (۱)- مقادیر $\Delta\sigma_{RSK}$ مناسب میله مستقیم هستند. مقادیر لازم برای یک میله با قطر خمیدگی $D < 25\phi$ را باید بوسیله مقادیر میله مستقیم در ضریب کاهش $\phi / D = 0.35 + 0.026D$ بست آورد. برای میلگردها، که باید $0/9$ در نظر گرفته شود.

زیرنویس (۲)- این مقدار باید توسط مدیران راه آهن تائید شوند.

N^* در سیکل های $\Delta\sigma_{RSK}$	توان تنش		N^*	منحنی S-N برای فولاد پیش تنیده مورد استفاده برای
	K_2	K_1		
۱۸۵	۹	۵	10^6	پیش تنیدگی
۱۸۵	۹	۵	10^6	پس تنیدگی : رشته های تکی در کanal های پلاستیکی
۱۵۰	۱۰	۵	10^6	میله های کششی مستقیم یا خمیده در کanal های پلاستیکی
۱۲۰	۷	۳	10^6	میله های خمیده در کanal های فولادی
۸۰	۵	۳	10^6	وسایل تابیدن ^(۱)

زیرنویس (۱) این مقادیر باید توسط مدیران راه آهن تائید شوند.

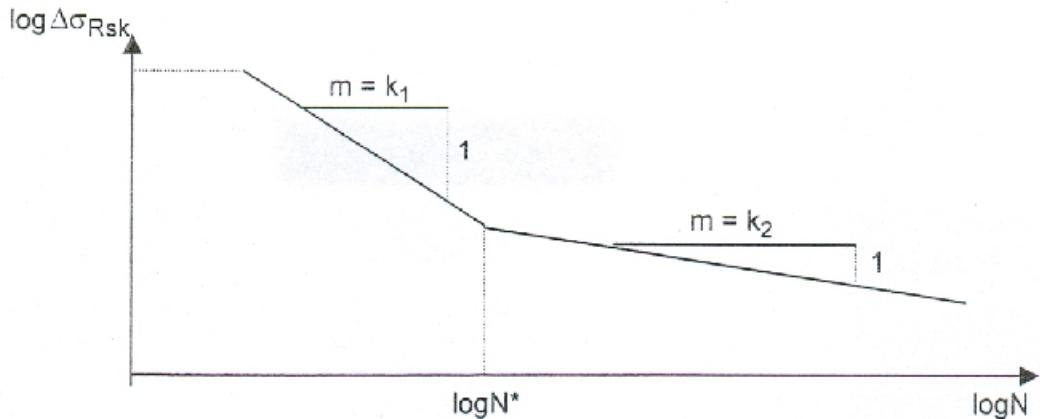
- عموماً منحنی های S-N مطابق با جدول ۲ از معادله زیر پیروی می کنند:

$$(\Delta\sigma_{RSK})^M = N$$

که در آن :

$$N^* \text{ برای } m=k_1$$

$$N > N^* \text{ برای } m=k_2$$



شکل ۱- شکل منحنی مشخصه استحکام - چسبندگی فولاد(منحنی های (SN))

- در محیط های دارای خط خوردگی باید توجه ویژه ای به تاثیر خستگی داشت.(به استاندارد ۱-PrEn1992-1 مراجعه گردد) برای اجزای دیگر بتنی در قسمت هایی که فرآیند خوردگی شروع شده، محدوده تنش $\Delta\sigma_{RSK}$ را می‌توان با کاهش توان تنش K_2 برای میله های مستقیم و خمیده به مقدار $K_2 = 5$ مشخص کرد.

۳-۵ اعتباردهی جزئی

اعتباردهی جزئی شامل اثبات این نکته است که محدوده تنش در عنصر مورد نظر در طی مدت عمر مفید سازه کمتر از حد خستگی باقی می‌ماند:

$$\Delta\sigma_s(Q_{fat}) \leq m \sqrt{\frac{N^*}{N_D} \cdot \frac{\Delta\sigma_{RSK}(N^*)}{Y_{sfat}}} \quad (6)$$

که در آن عبارت $M=K_1$ و N^* در جدول ۲ داده شده است و N_D تعداد سیکل های تعریف شده برای حد خستگی است. برای انواع مختلف تقویت ها $N_D = 5 \times 10^6$ سیکل بار می‌باشد. محدوده تنش $\Delta\sigma_{RSK}$ باید تحت ترکیبی از عوامل ۱ که در بند ۴-۲-۳ آورده شده، تعیین شود.

باید توجه داشت که این فرمول ساده شده، بر اساس نظریه هایی است که کمی با مورد تعریف شده در استانداردهای اروپائی متفاوت است، هر چند که از نظر درجه دقیق تائید قابل قبول هستند.

۴-۵ اعتباردهی کلی

اگر خستگی- ایمنی با روش ساده شده اثبات نشود، روش کلی زیر باید برای تشخیص اینکه محدوده تنش معادل از مقدار استحکام طراحی تجاوز نمی‌کند، بکار رود:

$$\Delta\sigma_{S.equ} \leq \frac{\Delta\sigma_{RSK}(N^*)}{\gamma_f \cdot \gamma_{sa} \cdot \gamma_{sfat}} \quad (7)$$

محدوده تنش معادل $\Delta\sigma_{S.equ}$ ناشی از ضریب اصلاحی λ_s بوده و محدوده تنش بوسیله بار خستگی ایجاد می‌گردد: Q_{fat}

$$\Delta \sigma_{s,eq} = \lambda_s \cdot \Delta \sigma_s (Q_{fat}) \quad (8)$$

محدوده تنش (Δ_s)، محدوده تنش مطابق مدل بار ۷۱ قید شده در استاندارد ۷۰۲ (شامل افزایش دینامیکی) در شرایط حداقل مطلوب تحت تاثیر ترکیبی از عوامل(۲) در بند ۳-۲-۴ می‌باشد ضریب اصلاح λ تاثیر خستگی مدل بار UIC71 قید شده در استاندارد ۷۰۲ را با برخستگی حقیقی تنظیم می‌کند. این ضریب اصلاح وابسته به مدل استاتیک سازه، طول دهانه عنصر مورد نظر، حجم ترافیک سالانه، عمر سرویس و تعداد خطوط می‌باشد که از فرمول زیر بدست می‌آید :

$$\lambda_s = \lambda_{s,1} \cdot \lambda_{s,2} \cdot \lambda_{s,3} \cdot \lambda_{s,4} \quad (9)$$

$\lambda_{s,1}$: ضریب اصلاح برای طول دهانه عنصر ساختمانی و برای نوع ترافیک عبوری

$\lambda_{s,2}$: ضریب اصلاح برای حجم ترافیک سالانه

$\lambda_{s,3}$: ضریب اصلاح برای عمر سرویس پیش‌بینی شده

$\lambda_{s,4}$: ضریب اصلاح برای تعداد خطوط

مقادیر ضرایب λ ها . در ENV1992-2، داده شده است.

ضریب ایمنی نسبی γ_f در بارها و γ_{sd} در تنش ها مطابق با استاندارد ENV1992-2 برابر ۱ است. در صورت وجود سیستم های استاتیک پیچیده که در آنها تعیین تنش ها و نیروی داخلی بسیار نامطمئن است، ضریب ایمنی نسبی برابر با ۱/۱ می‌توان استفاده کرد.

۶ اعتباردهی خستگی بتن

۶-۱ اصول

برای بتن تحت فشار خستگی - استحکام نه تنها تابعی از محدوده تنش، بلکه تابعی از میزان تنش نیز می‌باشد.

فیبرهای بتنی تحت فشار و میله های فشاری عنصر در معرض نیروی برشی باید تایید شوند. در مورد اخیر، خستگی - استحکام f_{cd} بتن باید بوسیله اعمال ضریب ۷ از معادله (S8) ذکر شده در استاندارد prEN1992-1 کاهش یابد.

۶-۲ اعتباردهی بتن تحت فشار

۶-۲-۱ اعتباردهی جزئی

خستگی - استحکام بتن تحت فشار در صورتی کافی فرض می‌شود که:

$$\frac{\sigma_{c,MAX}}{f_{cd}} \leq 0/5 + 0/45 \times \frac{\sigma_{c,min}}{f_{cd}} \leq 0/9 \quad (10)$$

که در آن :

- $\sigma_{c,\max}$: حداکثر تنش فشاری فیبر تحت ترکیبی از عوامل (۱) از بند ۴-۳-۲-۴
- $\sigma_{c,\min}$: حداقل تنش فشاری روی همان فیبر و تحت ترکیبی از همان عوامل (اگر $\sigma_{c,\max}$ کششی باشد، باید تایید شود که آیا $(\sigma_{c,\max})f_{cd} \leq 0.5$ است)
- $$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c \quad (1/5)$$
- f_{ck} : استحکام فشاری مشخصه در ۲۸ روز.
- در واقع کافی است وجود شرط زیر بررسی شود که :
- $$\sigma_{c,\max} \leq 0.5 f_{cd} \quad (11)$$

- استحکام فشاری افزوده با گذر عمر بتن در طی زمان t (قبل از بارگیری دوره ای) باید با اعمال بند ۵-۳-۷-۴-۲ از ENV1992-2 در نظر گرفته شود.

۶-۲-۶ اعتباردهی کلی

در صورتیکه شرایط ذکر شده مهیا نباشد، نیاز به اعتباردهی جامع تری دارد. این کار باید مطابق با قوانین جاری صورت گیرد.

۶-۳-۶ اعتباردهی بتن در برش

اگر هر یک از شرایط زیر برآورده شود اعتباردهی خستگی بتن تحت برش در اجزای بدون تقویت برشی باید انجام شود. در غیر این صورت تایید خستگی جامع تری ضروری است :

$$\text{for } \frac{\tau_{\min}}{\tau_{\max}} \geq 0 : \quad \left| \frac{\tau_{\max}}{\tau_{Rd}} \right| \leq 0/5 + 0/45 \times \left| \frac{\tau_{\min}}{\tau_{Rd}} \right| \leq 0/9 \quad (12)$$

$$\text{for } \frac{\tau_{\min}}{\tau_{\max}} < 0 : \quad \left| \frac{\tau_{\max}}{\tau_{Rd}} \right| \leq 0.5 - \left| \frac{\tau_{\min}}{\tau_{Rd}} \right| \quad (13)$$

که در آن :

- τ_{\max} : حداکثر تنش برشی اسمی تحت ترکیبی از عوامل (۱) از بند ۴-۳-۲-۴
- τ_{\min} : حداقل تنش برشی اسمی در همان مقطع و تحت ترکیبی از همان عوامل

$$\tau_{Rd} = \frac{V_{Rd,ct}}{b_w \cdot d}$$

با مقاومت برشی طراحی ($V_{Rd,ct}$ مطابق با استاندارد prEN1992-1)

که در آن :

- bw = عرض سطح مقطع عرضی مورد بررسی
- d = ارتفاع استاتیک مقطع عرضی مورد بررسی

در حالت برش پانچی، تنش‌های برشی حداقل و حداکثر برای محاسبه طبق معادله‌های (۱۲) و (۱۳) باشد.

۷ جزئیات مقاومت خستگی

اصولی که در جزئیات تقویت باید رعایت شود:

- در صورت امکان، اتصالات بین آرماتورها، مهاربندی و کوپلرهای بین عناصر پیش تنش باید در جایی که محدوده‌ی تنش پایین است قرار بگیرند.
- جوشکاری فولاد پیش تنشی و کanal‌ها مجاز نیست.
- تا جای ممکن باید از جوشکاری تقویتی (که شامل شبکه سیم‌های جوش کاری شده) خودداری کرد چون جوش کاری، استحکام - خستگی را بطور قابل توجهی کاهش می‌دهد.
- اگر جوش‌های تحت بار در آرماتور اجتناب ناپذیر باشد، فقط باید از جوش لب به لب (جوش برقی) استفاده شود.
- حال جوش جهت تقویت فولاد، فولاد پیش تنش و کanal‌ها ممنوع است.
- در صورتی که میلگردهای تقویتی از طریق جوشکاری یا مکانیکی به یکدیگر وصل شده باشند، استحکام - خستگی اتصالات باید از طریق آزمایش تایید شوند.
- تقویت برشی باید ضمیمه تقویت اصلی شود و باید دقت شود که پوشش بتن روی میلگردهای برشی را به میزان حداقل تعیین شده بپوشاند.
- شعاع انحنای تقویت تحت هیچ شرایط نباید کمتر از حداقل مقدار تعیین شده در استانداردها باشد.
- در صورتیکه پیش‌تنیدگی با استفاده از میله‌های کششی نچسبیده انجام شود، مهاربندی و جفت کننده‌ها باید با ضرایب تعیین شده باشند.
- فرآیند سازی تقویت کننده باید با دقت انجام شود و تقویت کننده باید طوری مستقر شود که پر کردن و کار با بتن را تسهیل کند.

۸ ضرایب اصلاحی

۱-۸ مسلح کردن و پیش‌تنیده کردن فولاد

محدوده تنش معادل خرابی برای مسلح کردن و پیش‌تنیده کردن فولاد مطابق معادله (۱۴) محاسبه گردد:

$$\Delta\sigma_{s.equ} = \lambda_s \cdot \Delta\sigma_{s.71} \quad (14)$$

که در آن :

$\Delta\sigma_{s.71}$ محدوده تنش فولاد ناشی از مدل بار ۷۱ (مستقر در نامناسب ترین حالت) تحت ترکیب عملهای غیر متناوب، که شامل ضریب دینامیک مطابق با استاندارد ENV 1991-3 است.

λ_S ضریب اصلاحی برای محاسبه محدوده تنش معادل خرابی از محدوده تنش بدست آمده از $\sigma_{s,71}$ مقادیر داده شده در جدول ۳ بر اساس $\Psi'_1 = 1$ می باشد.

ضریب اصلاحی λ_S به دهانه، حجم ترافیک سالیانه، طول عمر و خطوط چندگانه بستگی دارد، که می توان آن از روی فرمول زیر محاسبه کرد:

$$\lambda_S = \lambda_{S,1} \cdot \lambda_{S,2} \cdot \lambda_{S,3} \cdot \lambda_{S,4} \quad (15)$$

که در آن :

$\lambda_{S,1}$: ضریب مربوط به دهانه پل و ترکیب ترافیک عبوری

$\lambda_{S,2}$: ضریب مربوط به حجم ترافیک سالیانه

$\lambda_{S,3}$: ضریب مربوط به طول عمر

$\lambda_{S,4}$: ضریب برای خطوط چند گانه

ضریب $\lambda_{S,1}$ تابعی از دهانه پل و ترکیب ترافیک عبوری می باشد. $\lambda_{S,1}$ برای ترکیب ترافیک استاندارد و ترکیب ترافیک سنگین مطابق با مقدار تعريف شده در استاندارد ENV 1991-3 می باشد.

که می توان آنرا از جدول ۳ استخراج کرد.

برای سایر ترکیب های قطار، ضریب $\lambda_{S,1}$ باید از طریق روش های ارائه شده در مستندات مربوطه محاسبه گردد.

مقدار $\lambda_{S,2}$ مشخص کننده تاثیر حجم ترافیک سالانه است و از روی معادله زیر محاسبه می گردد:

$$\lambda_{S,2} = K_2 \sqrt{\frac{Vol}{25 \cdot 10^6}} \quad (16)$$

که در آن :

Vol: حجم ترافیک (تن در هر سال برای خط مورد نظر)

K_2 : شب منحنی S-N

مقدار $\lambda_{S,3}$ مشخص کننده تاثیر طول عمر است و از روی معادله (۱۷) محاسبه می گردد:

$$\lambda_{S,3} = K_2 \sqrt{\frac{N_{years}}{100}} \quad (17)$$

که در آن :

N_{years} : عمر کاری طراحی شده برای پل (بر حسب سال)

K_2 : شب منحنی S-N

مقدار $\lambda_{S,4}$ مشخص کننده تاثیر بارگذاری مربوط به بیش از یک خط است. تاثیر بارگذاری از دو خط را می توان با معادله (۱۸) بدست آورد :

$$\lambda_{S,4} = \sqrt[k_2]{n + (1-n) \cdot s_1^{k_2} + (1-n) \cdot s_2^{k_2}} \quad (18)$$

$$s_1 = \frac{\Delta\sigma_1}{\Delta\sigma_{1-2}} \quad s_2 = \frac{\Delta\sigma_2}{\Delta\sigma_{1-2}} \quad n = \frac{N_C}{N_T}$$

که در آن :

ن	مقدار ترافیک عبوری به طور همزمان از روی پل می‌باشد.
NC	تعداد قطارهایی که به طور همزمان از روی پل عبور می‌کنند.
NT	تعداد کل قطارهای عبوری از یک خط
Δ_{σ_2}	محدوده تنش ناشی از مدل بار ۷۱ بر یک خط
$\Delta_{\sigma_{1-2}}$	محدوده تنش ناشی از مدل بار ۷۱ بر دو خط
K ₂	شیب منحنی S-N

اگر تنها تنش‌های فشاری در اثر بارهای ترافیک عبوری بر یک خط اعمال شود، باید $S_J = 0$ در نظر گرفته شود.

جدول ۳- مقادیر λ_{S-N} برای تیرهای یگانه و پیوسته

(الف) تیرهای دارای تکیه گاه ساده

ترکیب ترافیک		دهانه [m]	منحنی S-N			نوع
سنگین	استاندارد		N*	K ₂	K ₁	
۰/۹۵	۰/۹۰	≤۲	۱۰ ^۶	۹	۵	[۱]
۰/۷۰	۰/۶۵	≥۲۰		۷	۳	
۱/۰۵	۱/۰۰	≤۲	۱۰ ^۶	۵	۳	[۲]
۰/۷۰	۰/۷۰	≥۲۰		۵	۳	
۱/۳۵	۱/۲۵	≤۲	۱۰ ^۶	۷	۳	[۳]
۰/۷۵	۰/۷۵	≥۲۰		۵	۳	
۰/۸۵	۰/۸۰	≤۲	۱۰ ^۷	۵	۳	[۴]
۰/۴۰	۰/۴۰	≥۲۰		۵	۳	

(ب) تیرهای پیوسته (دهانه میانی، بخش مرکزی)

ترکیب ترافیک		دهانه [m]	منحنی S-N			نوع
سنگین	استاندارد		N*	K ₂	K ₁	
۱/۰۵	۰/۹۵	≤۲	۱۰ ^۶	۹	۵	[۱]
۰/۵۵	۰/۵۰	≥۲۰		۷	۳	
۱/۱۵	۱/۰۰	≤۲	۱۰ ^۶	۵	۳	[۲]
۰/۵۵	۰/۵۵	≥۲۰		۵	۳	
۱/۴۰	۱/۲۵	≤۲	۱۰ ^۶	۷	۳	[۳]
۰/۵۵	۰/۵۵	≥۲۰		۵	۳	
۰/۹۰	۰/۷۵	≤۲	۱۰ ^۷	۷	۳	[۴]
۰/۳۰	۰/۳۵	≥۲۰		۵	۳	

ادامه جدول -۳

ج) تیرهای پیوسته (بخش دهانه انتهایی)

ترکیب ترافیک		دهانه [m]	S-N منحنی			نوع
سنگین	استاندارد		N*	K ₂	K ₁	
۱/۰۰	۰/۹۰	≤۲	۱۰ ^۶	۹	۵	[۱]
۰/۶۵	۰/۶۵	≥۲۰		۷	۳	
۱/۱۵	۱/۰۵	≤۲	۱۰ ^۶	۷	۳	[۲]
۰/۶۵	۰/۶۵	≥۲۰		۵	۳	
۱/۴۵	۱/۳۰	≤۲	۱۰ ^۶	۵	۳	[۳]
۰/۷۰	۰/۶۵	≥۲۰		۵	۳	
۰/۹۰	۰/۸۰	≤۲	۱۰ ^۷	۵	۳	[۴]
۰/۳۵	۰/۳۵	≥۲۰		۵	۳	

د) تیرهای پیوسته (بخش تکیه گاه میانی)

ترکیب ترافیک		دهانه [m]	S-N منحنی			نوع
سنگین	استاندارد		N*	K ₂	K ₁	
۰/۸۵	۰/۸۵	≤۲	۱۰ ^۶	۹	۵	[۱]
۰/۷۵	۰/۷۰	≥۲۰		۷	۳	
۰/۹۵	۰/۹۰	≤۲	۱۰ ^۶	۷	۳	[۲]
۰/۷۵	۰/۷۰	≥۲۰		۵	۳	
۱/۱۰	۱/۱۰	≤۲	۱۰ ^۶	۵	۳	[۳]
۰/۸۰	۰/۷۵	≥۲۰		۵	۳	
۰/۷۰	۰/۷۰	≤۲	۱۰ ^۷	۵	۳	[۴]
۰/۴۰	۰/۳۵	≥۲۰		۵	۳	

تعريف نوع در جدول شماره ۳ (الف - ب - ج - د) :

[۱] فولاد مسلح، پیش تنیده شده ، پس تنیده (سیم‌های تابیده در مواد پلاستیکی و میله‌های کششی مستقیم در کانال‌های فولادی)

[۲] پس تنیده (میله‌های کششی خمیده در کانال‌های فولادی)

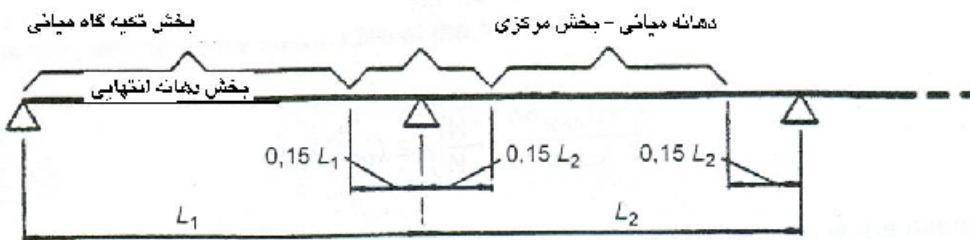
[۳] جفت کننده‌ها (فولاد پیش تنیدگی)

[۴] وسایل تابیدن (فولاد مسلح). میلگردهای جوش خورده شامل خال جوش و جوشکاری لب به لب (به استاندارد ENV 1992-1 مراجعه گردد)

مقادیر λ_{S.1} برای دهانه‌های (L) بین ۲ تا ۲۰ متر از معادله زیر بدست می‌آید:

$$\lambda_{S.1}(L) = \lambda_{S.1}(2) + [\lambda_{S.1}(20) - \lambda_{S.1}(2)](\log L - 0.3)$$

برای تعریف بخش دهانه انتهایی، بخش تکیه گاه میانی و دهانه میانی، بخش مرکزی، به شکل ۲ رجوع کنید.



۲-۸ بتن تحت فشار

برای بتن تحت فشار در صورتی که معادله زیر برقرار باشد، می‌توان فرض نمود که مقاومت خستگی بتن کافی می‌باشد:

$$14 \frac{1 - S_{cd,max,eq}}{\sqrt{1 - R_{equ}}} \geq 6 \quad (19)$$

که در آن:

$$R_{equ} = \frac{S_{cd,min,eq}}{S_{cd,max,eq}}; S_{cd,min,eq} = s_d \frac{\sigma_{cd,min,eq}}{f_{cd,fat}}; S_{cd,max,eq} = s_d \frac{\sigma_{cd,max,eq}}{f_{cd,fat}}$$

$\sigma_{cd,min,eq}$ و $\sigma_{cd,max,eq}$ به ترتیب بالاترین و پایین ترین مقادیر تنش‌ها در محدوده تنش معادل خرابی با تعداد سیکل $N=10^6$ می‌باشند.

مقادیر تنش‌های مذکور باید بر طبق معادله زیر محاسبه گردند:

$$\begin{aligned} \sigma_{cd,max,eq} &= \sigma_{c,perm} + \lambda_c (\sigma_{c,max,71} - \sigma_{c,perm}) \\ \sigma_{cd,min,eq} &= \sigma_{c,perm} - \lambda_c (\sigma_{c,perm} - \sigma_{c,min,71}) \end{aligned} \quad (20)$$

که در آن:

$\sigma_{c,perm}$: تنش فشاری بتن تحت بار ترکیبی غیر متناوب بدون توجه به مدل بار ۷۱
 $\sigma_{c,max,71}$ و $\sigma_{c,min,71}$: حداقل تنش فشاری تحت بار ترکیبی غیر متناوب، که شامل ضریب دینامیک مطابق با استاندارد ENV 1991-3 می‌باشد.

λ_c : ضریب اصلاحی برای محاسبه تنش‌های بالا و پایین محدود تنش معادل خرابی از تنش‌های ناشی از مدل بار ۷۱

مقادیر داده شده در جدول ۴ بر اساس $\lambda_c = 1 = \Psi$ می‌باشد.
 ضریب اصلاحی λ_c وابسته به تنش ثابت، دهانه، حجم ترافیک سالانه، طول عمر و خطوط چندگانه می‌باشد و از طریق فرمول زیر بدست می‌آید:

$$\lambda_c = \lambda_{c,0} \lambda_{c,1} \lambda_{c,2} \lambda_{c,3} \lambda_{c,4} \quad (21)$$

که در آن :

$\lambda_{c,0}$: ضریب مربوط به تنش ثابت و دائمی

$\lambda_{c,1}$: ضریب مربوط به دهانه پل و ترکیب ترافیک عبوری

$\lambda_{c,2}$: ضریب مربوط به حجم ترافیک سالانه

$\lambda_{c,3}$: ضریب مربوط به طول عمر

$\lambda_{c,4}$: ضریب خطوط چندگانه

مقدار $\lambda_{c,0}$ مشخص کننده تاثیر تنش ثابت و دائمی بوده و از روی معادله (۲۲) محاسبه می‌شود:

$$\lambda_{c,0} = 0,94 + 0,2 \frac{\sigma_{c,perm}}{f_{cd,fat}} \geq 1,0 \quad (22)$$

برای ناحیه کششی در شرایط پیش فشندگی برای بتن پیش‌تییده، مقدار $\lambda_{c,0}$ باید برابر با ۱ فرض شود.

ضریب $\lambda_{c,1}$ تابعی از دهانه پل و ترکیب ترافیک عبوری می‌باشد. مقادیر $\lambda_{c,1}$ برای ترکیب ترافیک عبوری استاندارد و ترکیب ترافیک عبوری سنگین مطابق با تعاریف ذکر شده در استاندارد ENV 1991-3 از جدول ۴ استخراج کرد.

مقدار $\lambda_{c,2}$ مشخص کننده حجم ترافیک سالیانه بوده و به صورت زیر محاسبه می‌گردد.

$$\lambda_{c,2} = 1 + \frac{1}{8} \log \left[\frac{Vol}{25 \cdot 10^6} \right] \quad (23)$$

که در آن :

Vol حجم ترافیک (تن در هر سال برای هر خط)

مقدار $\lambda_{c,3}$ مشخص کننده تاثیر طول عمر است و از طریق معادله زیر بدست می‌آید:

$$\lambda_{c,3} = 1 + \frac{1}{8} \log \left[\frac{N_{years}}{100} \right] \quad (24)$$

که در آن :

N_{years} طول عمر پل (برحسب سال)

مقدار $\lambda_{c,4}$ مشخص کننده تاثیر بارگذاری برای بیش از یک خط است. تاثیر بارگذاری از دو خط را می‌توان با استفاده از معادله (۲۵) محاسبه کرد:

$$\lambda_{c,4} = 1 - \frac{1}{8} \log n \geq 0.54 \quad \text{for } a \leq 0.8 \quad (25)$$

$$\lambda_{c,4} = 1.0 \quad \text{for } a > 0.8$$

$$a = \frac{\max\{\Delta\sigma_{c,1}, \Delta\sigma_{c,2}\}}{\Delta\sigma_{c,1-2}} : n = \frac{N_c}{N_T} \quad (26)$$

که در آن :

میزان ترافیک عبوری از پل	n
تعداد قطارهای عبوری از پل	N_C
تعداد کل قطارهای عبوری از یک خط	N_t
محدوده تنش فشاری ناشی از مدل بار ۷۱ بر یک خط	$\Delta_{\sigma,1}$ و $\Delta_{\sigma,2}$
محدوده تنش فشاری ناشی از مدل بار ۷۱ بر دو خط	$\Delta_{\sigma,1-2}$

جدول ۴ : مقادیر $\lambda_{s,1}$ برای تیرهای با تکیه گاه ساده و پیوسته

الف) تیرهای با تکیه گاه ساده

ترکیب ترافیک		دهانه [m]	ناحیه سطح مقطع
سنگین	استاندارد		
۰/۷۰	۰/۷۰	≤ 2	ناحیه فشرده شده
۰/۷۵	۰/۷۵	≥ 20	
۱/۰۰	۰/۹۵	≤ 2	ناحیه کششی پیش فشرده
۰/۹۰	۰/۹۰	≥ 20	

ب) تیرهای پیوسته (دهانه میانی، بخش مرکزی)

ترکیب ترافیک		دهانه [m]	ناحیه سطح مقطع
سنگین	استاندارد		
۰/۹۰	۰/۷۵	≤ 2	ناحیه فشرده شده
۰/۵۵	۰/۵۵	≥ 20	
۱/۱۵	۰/۱۰۵	≤ 2	ناحیه کششی پیش فشرده
۰/۷۰	۰/۶۵	≥ 20	

ج) تیرهای پیوسته (بخش دهانه انتهایی)

ترکیب ترافیک		دهانه [m]	ناحیه سطح مقطع
سنگین	استاندارد		
۰/۸۰	۰/۷۵	≤ 2	ناحیه فشرده شده
۰/۷۰	۰/۷۰	≥ 20	
۱/۲۰	۱/۱۰	≤ 2	ناحیه کششی پیش فشرده
۰/۷۰	۰/۷۰	≥ 20	

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.