دانشگاه گیلان

پایان نامه کارشناسی ارشد

گروه مهندسی عمران-مکانیک خاک و پی

پردیس دانشگاهی

تعیین و تحلیل نشست نا متقارن پایه پل مونوریل کرمانشاه

عاطفه السادات باقری باوندپوری

استاد راهنما :

جناب اقای دکتر میر احمد لشته نشایی

استاد مشاور :

جناب اقای دکتر مهران کریم پور فرد

شهریور ۹۳

فهرست:

فهرست علائم بکار رفته در فصول.....۱

چکیده فارسی.....۴

چکیده انگلیسی.....۵

فصل ۱ :مقدمات.....۶

۱-۱:مقدمه.....۷

۱-۲:بیان مسئله.....۷

۱-۳:روش انجام تحقیق.....۷

۱-۴:معرفی فصول پایان نامه.....۷

فصل ۲ :تعاریف.....۸

۲-۱:مقدمه.....۹

۲-۲:معرفی بارهای وارده.....۹

۲-۲-۱-بار مرده.....۱۰

۲-۲-۲-بار متحرک ناشی از عبور مونوریل.....۱۰

۲-۲-۳-بار ترمز.....۱۰

۲-۲-۴-نیروی گریز از مرکز.....۱۱

۲-۲-۵-نیروی ناشی از نوسانات ناوگان.....۱۱

۲-۲-۶-بارگذاری پیاده روی ویژه عوامل بهره برداری.....۱۱

۲-۲-۷-بارگذاری حرارتی.....۱۱

۲-۲-۸-بار باد.....۱۲
۲-۲-۹-بار زلزله.....۱۳

۲-۳:ترکیب بار گذاری.....۱۳
۲-۳-۱-حالت حدی نهایی برای مقاطع بتنی.....۱۳

۲-۴:نیروی زلزله.....۱۴

۲-۵:سیستم گروه شمع ها.....۱۴

۲-۶:دلایل نشست.....۱۴

فصل ۳ :روش ها و راهکارها.....۱۷
۳-۱:مقدمه.....۱۸

۳-۲:نشست شمع تکی.....۱۸

۳-۳:مقدمه نشست گروه شمع.....۱۸
۳-۳-۱-نشست الاستیک گروه شمع.....۲۰
۳-۳-۲-نشست تحکیم گروه شمع.....۲۰

۳-۴:روش های تخمین نشست گروه شمع ها.....۲۱
۳-۴-۱-روش سوپر پوزیشن.....۲۲
۳-۴-۲-روش نمودار بار-نشست.....۲۵
۳-۴-۳-روش نسبت نشست.....۲۸
۳-۴-۴-روش پی گسترده معادل.....۳۳
۳-۴-۵-روش ستون معادل.....۳۹
۳-۴-۶-روش های عددی.....۴۳

۳-۵:پی گسترده با شمع (Piled raft)..... ۴۴

۳-۵-۱-روش های ساده محلسباتی..... ۴۷
۳-۵-۱-۱-روش PDR ۴۷
۳-۵-۱-۲-روش تحلیل رگرسیون..... ۴۹

۳-۵-۲-روش های کامپیوتری تقریبی..... ۵۰
۳-۵-۲-۱-نوار روی فنر (GASP)..... ۵۰
۳-۵-۲-۲:صفحه روی فنر(GARP)..... ۵۰

۳-۵-۳-روش های کامپیوتری پیچیده..... ۵۲
۳-۵-۳-۱-روش تحلیل دو بعدی..... ۵۲
۳-۵-۳-۲-روش تحلیل سه بعدی..... ۵۲

۳-۶:ابزارهای ساده سازی مسئله..... ۵۲

۳-۷:سختی خاک ۵۴

فصل ۴ :تبیین پروژه..... ۵۸
۴-۱:مقدمه..... ۵۹

۴-۲:معرفی پروژه..... ۵۹

۴-۳:انتخاب ناحیه مورد بررسی..... ۶۰

۴-۴:مشخصات مصالح مورد استفاده در پروژه..... ۶۱
۴-۴-۱-فولاد مصرفی..... ۶۱
۴-۴-۲-بتن سازه ای در شمع ها..... ۶۱
۴-۴-۳-بتن سازه ای در ستون ها..... ۶۱

۴-۴-۴-میلگرد های اصلی..... ۶۱

۴-۵:مشخصات ژئوتکنیکی مسیر..... ۶۲

۴-۶:ابعاد پی..... ۶۲

فصل ۵ :معرفی نرم افزار..... ۶۳

۵-۱:معرفی نرم افزار PLAXIS ۶۴

۵-۲: PLAXIS 2D ۶۴

۵-۲-۱-طرح هندسی و المان ها..... ۶۴

۵-۲-۲-المان خاک..... ۶۴

۵-۲-۳-المان صفحه ای..... ۶۴

۵-۲-۴-المان ژئوگرید..... ۶۴

۵-۲-۵-المان تقابل..... ۶۵

۵-۲-۶-المان مهار..... ۶۵

۵-۲-۷-بارها..... ۶۵

۵-۲-۸-مش بندی..... ۶۶

۵-۲-۹-شرایط اولیه..... ۶۶

۵-۲-۱۰-فشار اب..... ۶۶

۵-۲-۱۱-تنش موثر..... ۶۶

۵-۲-۱۲-محاسبات..... ۶۶

۵-۲-۱۳-محاسبات پلاستیک..... ۶۶

۵-۲-۱۴-تحلیل تحکیم..... ۶۶

۵-۲-۱۵-تحلیل ایمنی..... ۶۶

۵-۲-۱۶-نتایج..... ۶۶

۵-۳: PLAXIS 3D FOUNDATION ۶۷

۵-۳-۱-هندسه..... ۶۷

۵-۳-۲-مغزه ها.....۶۷
۵-۳-۳-صفحات کار.....۶۷
۵-۳-۴-المان ها.....۶۷
۵-۳-۵-شمع های حجمی.....۶۷
۵-۳-۶-شمع های حفاری.....۶۷
۵-۳-۷-بارها.....۶۸
۵-۳-۸-مش بندی.....۶۸
۵-۳-۹-مدل های مصالح.....۶۸
۵-۳-۱۰-مدل الاستیک خطی.....۶۸
۵-۳-۱۱-مدل موهر-کلمب.....۶۸

۵-۴:پلاستیسیته توابع تسلیم.....۶۹
۵-۴-۱-پارامترهای ورودی.....۶۹
۵-۴-۲-پارامتر های ورودی پیشرفته.....۶۹

۵-۵:مدل اتصال سنگ.....۷۰

۵-۶:مدل سخت شونده.....۷۰

۵-۷:رابطه هیپربولیک.....۷۰

۵-۸:مدل پلاستیسیته و تسلیم.....۷۱

۵-۹:مدل خزشی خاک نرم.....۷۳

۵-۱۰:مدل خاک نرم و مدل cam-clay اصلاح شده.....۷۳

۵-۱۱:فرضیات مدل سازی پروژه.....۷۳

فصل ۶ : نتیجه گیری.....۷۴
۶-۱:مقدمه.....۷۵
۶-۲:مراحل انجام ا نالیز.....۷۵
۶-۳:نتیجه نهایی.....۷۵
۶-۴:مشخصات ژئوتکنیکی گمانه ها.....۷۶
۶-۴-۱-گمانه M2 .....۷۶
۶-۴-۲-گمانه B.H.5 .....۷۷
۶-۴-۳-گمانه B.H.6 .....۷۸
۶-۴-۴-گمانه M3 .....۷۹
۶-۵:رنگ مصالح و نوع ان.....۸۰
مشخصات مصالح تعریفی.....۸۱
۶-۶:مشخصات گمانه های تعریف شده در مدل سازی.....۸۲
۶-۷:مش بندی دو بعدی.....۸۵
۶-۸:مش بندی سه بعدی محیط شمع ها و خاک.....۸۶
۶-۹:مدل اماده شده جهت انالیز.....۸۷
۶-۱۰:مدل اماده شده برای بار گذاری.....۸۸
۶-۱۱:نقاط تعیین شده برای منحنی بار-نشست.....۸۹

۶-۱۲:معرفی فاز های محاسباتی.....۹۱

۶-۱۳:شروع محاسبات.....۹۱

۶-۱۴:تیک خوردن فاز های محاسباتی به معنای انالیز کامل مدل.....۹۲

۶-۱۵:مش تغییر شکل یافته بعد از بار گذاری.....۹۳

۶-۱۶:جابجایی قائم برای مقطع برش خورده زیر شمع ها.....۹۴

۶-۱۷:تنش موثر برای نقاط زیر شمع ها.....۹۵

۶-۱۸:تنش موثر کل مقطع.....۹۵

۶-۱۹:جابجایی قائم برای مقطع برش خورده زیر رادیه-شمع ها.....۹۶

۶-۲۰:جابجایی قائم شمع ها.....۹۶

۶-۲۱:جابجایی نموی شمع ها.....۹۷

۶-۲۲:جابجایی قائم شمع ها نسبت به حالت اولیه.....۹۷

۶-۲۳:نمودار نشست-نیرو نقطه A در محل گمانه B.H.5.....۹۸

۶-۲۴:مقایسه منحنی نشست-نیرو نقاط گمانه B.H.5 .....۹۸

جداول نشست نقاط گمانه B.H.5 .....۹۹

۶-۲۵:مقایسه منحنی های نشست-نیرو برای نقاط مشخص شده در سایر گمانه ها.....۱۰۱

جداول نشست نقاط سایر گمانه ها.....۱۰۲

۶-۲۶:تحلیل نتایج.....۱۰۵

۶-۲۷:پیشنهادات.....۱۰۶

منابع و مراجع.....۱۰۷

فهرست علائم بکار رفته در فصول :

ΔL : نشست شمع در جهت محور

Q : نیروی محوری وارد بر شمع

L : طول شمع

E : مدول الاستیسیته مصالح شمع که جهت شمع بتنی معادل $2.5\times10^5\ {}^{kg}\!/_{cm^2}$ می باشد.

A : سطح مقطع شمع

R : شعاع قاعده مخروط به عنوان سطح پی معادل در تراز نوک شمع

d : قطر شمع به متر

d_S : ضخامت لایه های مختلف

i : ترتیب شماره لایه های ۱ و ۲ تا به آخر که n نام دارد.

α : زاویه پخش بار بر حسب درجه جهت لایه ها

σ : تنش وارد به خاک در تراز نوک شمع و در سطحی معادل سطح پی فرضی

S : نشست کلی شمع

S_1 : نشست به علت تغییر شکل الاستیک تنه شمع

S_2 : نشست الاستیک خاک در نوک شمع

S_3 : نشست الاستیک خاک اطراف تنه شمع

Q_{WP} : بار حمل شده در نوک شمع تحت بار بهره برداری

Q_{WS} : بار حمل شده به وسیله مقاومت اصطکاکی تحت بار بهره برداری

A_P : سطح مقطع عرضی شمع

D : عرض یا قطر شمع

q_{wp} : بار نوک شمع بر واحد سطح ${Q_{WP}}/{A_p}$

E_S : ضریب الاستیسیته خاک در زیر یا حوالی نوک شمع

μ_S : ضریب پواسون خاک

I_{WP} : ضریب تأثیر

q_p : ظرفیت باربری نهایی نوک شمع

P : محیط شمع

B_g : عرض مقطع گروه

q_c : مقاومت متوسط نفوذ مخروط در نشستگاه شمع

ΔS_i : نشست تحکیمی لایه i ام

Δe_i : تغییر در نسبت تخلخل به علت افزایش تنش در لایه i ام

e_0 : تخلخل اولیه لایه i

H_i : ضخامت لایه i

W_i : نشست شمع i

P_{av} : بار متوسط شمع

S_1 : انعطاف پذیری شمع

α_{ij} : فاکتور اندرکنش شمع i ام نسبت به شمع j ام

R_f : فاکتور هیپربولیک

P_u : ظرفیت باربری نهای

Δp_j : افزایش بار بر روی شمع j در زمین

k_j : سختی محوری سر شمع j

ΔS_{ffi} : حرکات جزئی سر شمع i به دلیل حرکات زمین

ξ_i : فاکتور کاهش اثر زمین که کوچکتر از یک است.

$\Delta\theta$: چرخش جزئی سرشمع در امتداد هر یک از محورها

x_i, y_i : مختصات محوری شمع

x_r, y_r : مبدأ مختصات

k_{j_0} : سختی اولیه شمع

p_j : بار وارده به شمع

p_{uj} : بار نهایی شمع

$G_{\max}$: مدول برشی اولیه

P : مقاومت بسیج شده خاک

P_f : مقاومت حد شکست خاک

S_S : جابجایی نقطه ای غلاف شمع

τ_0 : تنش برشی در امتداد طول غلاف

G_S : مدول برشی خاک در امتداد طول غلاف شمع

R_0 : شعاع شمع

$R_{\max}$: محدوده اندرکنش شمع

υ : نسبت پواسون

Z : عمق مورد نظر

τ_f : تنش برشی محدودکننده

τ : تنش برشی جاری

q : تنش نرمال جاری

q_f : تنش نرمال محدود کننده

G_{Le} : مدول برشی عمومی برای حالت الاستیک خطی

n : تعداد شمع ها در گروه

k : سختی شمع تکی

r_0 : شعاع شمع

r_b : شعاع پایه

G_b : مدول برشی زیر سطح پایه شمع

G_n : مدول برشی در پایه شمع

$G_{½}$: مدول برشی در سطح وسط طول شمع

m : شیب خط

G_0 : عرض از مبدأ

η : پهنای پی برای شمع های پایه پهن

ξ : نسبت اتکا برای شمع های اتکایی

λ : نسبت سختی شمع– خاک

ξ' : اندازه شعاع نفوذ شمع

μ : اندازه تراکم شمع

E_f : مدول تغییر شکل در سطح فونداسیون

δ_i : نشست در گوشه سطح بار

μ_d : فاکتور عمق

δ_z : تنش قائم مؤثر متوسط در مرکز لایه خاک

q_n : فشار خالص فونداسیون در سطح پی گسترده معادل

μ_g : فاکتور زمین شناسی

A_g : سطح گروه شمع ها

A_p : مجموع سطوح مقطع عرضی شمع ها در گروه

E_{sk} : مدول یانگ لایه k

I_k : فاکتور نفوذ جابجایی محور شمع در سطح بالایی لایه j

α_{cp} : فاکتور اندرکنش Piled raft

k_r : سختی raft

k_p : سختی گروه شمع ها

p_r / p_t : سهم بار پی گسترده

r_c : شعاع متوسط سر شمع که از تقسیم سطح معادل raft بر تعداد شمع ها به دست می آید.

r_0 : شعاع شمع

S_r : نشست raft بدون شمع با اعمال تمام بار

r_m : ماکزیمم شعاع نفوذ شمع که وابسته به طول شمع است.

ρ : درجه هموژنیزه خاک

T : ضخامت

ϕ : زاویه اصطکاک داخلی

C : چسبندگی خاک

y_{center} : نشست نقطه مرکز پی

چکیده:

تعیین و تحلیل نشست نا متقارن پایه های پل مونوریل کرمانشاه

عاطفه السادات باقری باوندپوری

در این پژوهش مطالعاتی درخصوص پی های عمیق به خصوص گروه شمع ها صورت گرفته است و تاریخچه راهکارهای مختلف در زمینه پیش بینی و تخمین نشست این دسته از فونداسیون بررسی شده است.

ضمن توجه به نقاط ضعف و قوت روش های مختلف، تمرکزی بر روی علل نشست نیز صورت پذیرفته است. با توجه به بکارگیری و معرفی نرم افزارهای مختلف تحلیلی المان محدود، نرم افزار کاربردی plaxis 3D foundation معرفی شده و در ادامه، مورد استفاده قرار گرفته است.

مطالعه و بررسی روش های مختلف اعم از روشهای ساده محاسباتی استاتیکی تا روش های پیچیده کامپیوتری مبین این مطلب می باشد که دقیق ترین محاسبات و پیش بینی ها از طریق بکارگیری روش های المان محدود، امکان پذیر است.

به دلیل طولانی بودن محاسبات با روش مذکور، لزوم استفاده از نرم افزاری کاربردی که به روش فوق عمل کند، ضروری می_ باشد.

جهت ارائه استدلالی عملی در تأیید مطلب مورد مطالعه، یکی از بزرگترین پروژه های عمرانی کشور در سال های اخیر مورد ارزیابی واقع شده است.

با توجه به موقعیت مکانی و وضعیت خاک منطقه محل پروژه مونوریل کرمانشاه، نشست گروه شمع های فونداسیون بخش مرکزی بررسی و مدل سازی شده است.

درنهایت نتایج مدل سازی توسط Plaxis 3D foundation، به عنوان نمونه تأییدی عملکرد مناسب نرم افزار مذکور با روش المان محدود ارائه شده است.

کلید واژه: نشست نا متقارن , فونداسیون شمع ,مونوریل

فصل ۱: مقدمات

۱-۱ :مقدمه

علیرغم پیشرفت چشمگیر علم مکانیک خاک و مهندسی ژئوتکنیک در دهه های اخیر، پیش بینی واقع گرایانه نشست پی های عمیق، هنوز با دشواری هایی همراه است. معمولاً ساده سازی در محاسبات و عدم توجه به پارامترهای متغیر، منجربه پیش بینی نادرست شده و پارامترهای بارگذاری را محافظه کارانه انتخاب می کنند.

چنین وضعیتی موجب غیر اقتصادی شدن طرح ها می گردد. لذا طرح اقتصادی و ایمن تأثیر بسزایی بر هزینه تمام شده و زمان اجرای طرح خواهد داشت.افزایش این هزینه ها لزوم پژوهش بیشتر در این زمینه را اشکار می سازد .هر چند سال های بسیاری است تلاش هایی در زمینه بهبود روش های پیش بینی نشست پی ها توسط محققین سراسر دنیا صورت گرفته است ولی هنوز روشی جامع در این زمینه ارائه نشده است.

۱-۲ :بیان مسئله

هر یک از روش های ارائه شده دارای نواقصی هستند که ناشی از برخی ساده سازی هاست.

با توجه به اینکه خاک ها دارای پارامترهای متغیری می باشند, بکارگیری هر روش برای نوع خاصی از خاک ها کاربرد دارد.

در پژوهش حاضر که بر روی پروژه مونوریل کرمانشاه صورت گرفته است , روش های مختلف پیش بینی نشست پی های عمیق مورد بررسی قرار گرفته است . به دلیل تنوع خاک های منطقه پروژه , پژوهش در زمینه انواع روش های پیش بینی و محاسبه نشست ضروری به نظر می رسد.

۱-۳ :روش انجام تحقیق

پژوهش صورت گرفته بر اساس روش تحقیق و تحلیل انجام شده است. بدین معنا که در ابتدا به معرفی سیستم های پی های عمیق پرداخته شده است سپس دلایل نشست بیان گردیده است. در ادامه انواع روش های محاسبه نشست توضیح داده شده است و محاسن و معایب هر یک بیان گشته , نرم افزار های مختلف کاربردی در این زمینه معرفی شده و نرم افزار بکار گرفته شده در این پژوهش به طور کامل توضیح داده شده است.

در نهایت با معرفی ویژگی ها و نیروهای وارده در پروژه مونوریل , مدل سازی پایه های پل مستقر بر گروه شمع ها اغاز گشته و پژوهش با ارائه نتایج مدل سازی و مقایسه ان ها و نیز بیان راهکارهای بهبود پژوهش های مشابه به اتمام رسیده است.

۱-۴ :معرفی فصول پایان نامه

این پروژه شامل ۶ فصل می باشد. فصل اول مقدمات است که در ان توضیحات کلی در زمینه موضوع پروژه داده شد.

فصل دوم , شامل ادبیات فنی پروژه است که بارهای پل , بارگذاری ها, معرفی سیستم های پی های مرکب و دلایل نشست را شامل می شود.

در فصل سوم , انواع روش های پیش بینی و محاسبه نشست با بیان ویژگی های هر یک مطرح شده است.

فصل چهارم به معرفی پروژه اختصاص دارد که شامل جزئیات ژئوتکنیکی پروژه است.

در فصل پنجم نرم افزار بکار گرفته شده توضیح داده شده است و فصل ششم شامل جداول و نمودارهای حاصل از نتایج مدل سازی می باشد.

فصل ۲ : تعاریف

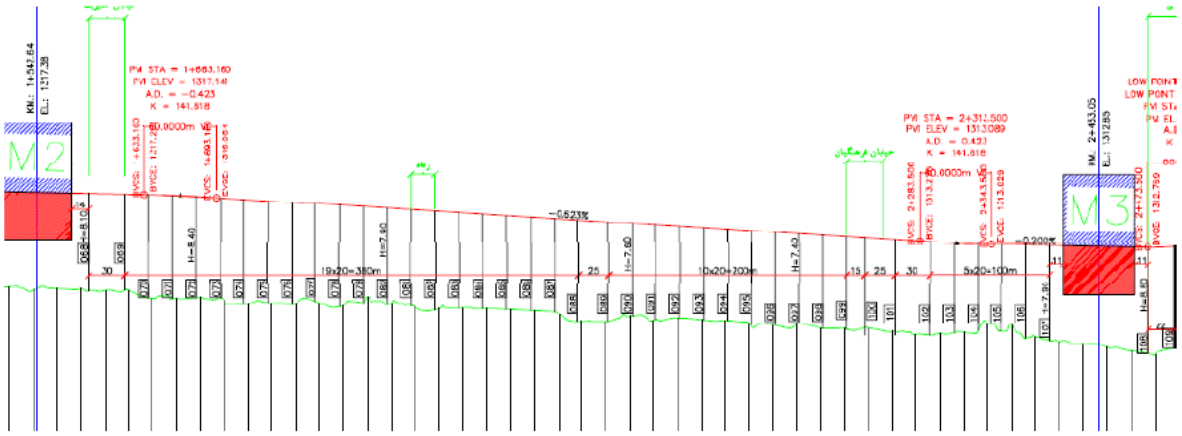
۲-۱ :مقدمه

بارهای وارد به انواع پل ها بسته به محل قرارگیری پل و کاربرد ان دارای تغییراتی می باشد ولی در حالت کلی بارگذاری شـامل , بارهای مرده, بارهای زنده , بارهای متحرک وبرخی موارد بار ضربه می باشد.

در این پژوهش بررسی بر روی پایه های پل مونوریل کرمانشاه صورت گرفته است .این پل در دسته پل هـای ترافیکـی قـرار مـی گیرد و با توجه به عبور مداوم واگن مونوریل , علاوه بر بارهای متعارف , بار ضربه ناشی از توقف های واگن و نیـز اثـر خسـتگی در طراحی این پل لحاظ گردیده است.

مسیر مونوریل به طول تقریبی ۱۳ کیلومتر و دارای ۱۳ ایستگاه می باشد که به سه بخش , شمالی ,میانی و جنوبی تقسیم می شود .

با توجه به موقعیت جغرافیایی بخش میانی که در مرکز شهر واقع شده و بر اساس بررسی های ژئوتکنیکی که وجود لایه های رسی با قابلیت نشست زیاد را در این بخش نشان می دهد , تمرکز پروژه حاضر بر روی بخش مرکزی در حد فاصـل ایسـتگاه هـای m2 و m3 می باشد.



شکل ۲-۱ : پروفیل عرضی مسیر حد فاصل ایستگاه m2 و m3

۲-۲ :معرفی بارهای وارده

بارهای موجود در سیستم سازه ای شامل بارهای قائم و جانبی می باشد. بارهای قائم بارهایی هسـتند کـه مولفـه تـاثیر ان هـا در راستای شتاب ثقل می باشد.این بارها به دو دسته کلی بارهای مرده و زنده تقسیم می شود.بارهای مرده شامل وزن تاسیسـات و المـان های سازه ای و تجهیزات دائمی روی سازه می باشد که اثر ان ها به صورت خطی و یا گسترده و یا متمرکز روی المان هـای سـازه ای لحاظ می گردد.

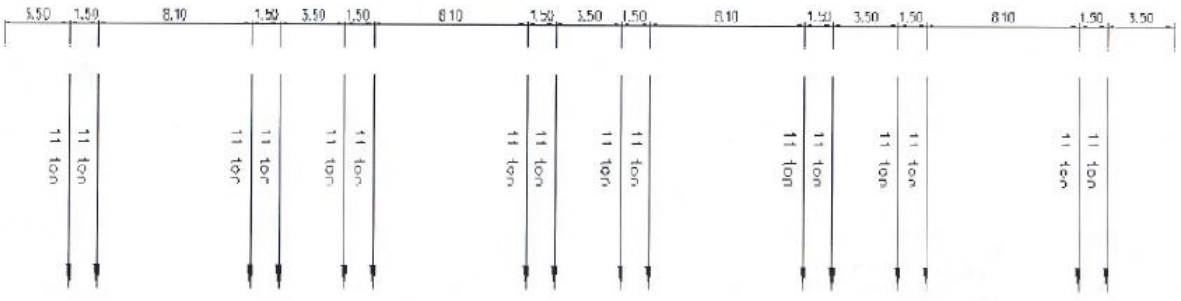
بار زنده در سازه مونوریل شامل اثرات مربوط به وزن مونوریل می باشد که با اعمال ضریب ضربه به سازه اعمال می شود

۲-۲-۱ :بار مرده :

بنا به تعریف صورت گرفته در استاندارد های طراحی, بارهای مرده به بارهای اطلاق می گردد که ناشی از اثر نیـروی جاذبـه روی قطعات اصلی سازه و ملحقات دائمی ان می باشد.میزان این بار با توجه به مشخصات ابعادی المان های سـازه ای و وزن واحـد حجـم مصالح محاسبه می شود لیکن لازم است سربار اضافی ناشی از وزن ملحقات جانبی که روی تیر نصب می شود به طور جداگانه لحـاظ گردد.

۲-۲-۲ :بار متحرک ناشی از عبور مونوریل (بار زنده) :

با توجه به سیستم تعیین شده برای ناوگان , بار مونوریل شامل ۴ واگن بوده که هر واگن دارای ۲ بـوژی مـی باشـد و هـر بـوژی دارای ۲ محور می باشد .در مجموع بار مونوریل شامل ۱۶ محور با بار حداکثر ۱۱ تن می باشد.



شکل ۲-۲ : نحوه چیدمان بار متحرک مونوریل

25 درصد میزان بار حاکثر محور ها به صورت طولی در راستای تیر طولی مونوریل اعمال می گـردد.لازم بـه ذکـر اسـت ضـریب تشدید دینامیکی برای بار متحرک بر اساس ایین نامه ااشتو برابر ۱,۳۳ می باشد.

البته بر اساس ابلاغ کارفرمای پروژه و با توجه به مشخصات ناوگان , ضریب تشدید دینامیکی برابر ۱,۴ در نظر گرفته شده است.

ضریب ضربه فوق در طراحی زیر سازه کاربرد ندارد و فقط در طراحی رو سازه اعمال می شود.

۲-۲-۳ : بار ترمز :

با توجه به نشریه ۱۳۹ بارگذاری پل ها و مشخصات ناوگان هیتاچی این نیرو به صورت زیر می باشد :

(۲-۱)

$$LF = 0.25 * 176 = 44 \text{ ton}$$

$$44 / 16 = 2.75 \text{ ton}$$

مقدار بار فوق در محل چرخ ها به رو سازه اعمال می شود.

۲-۲-۴ :نیروی گریز از مرکز (بار زنده) :

در تیرهایی که تمام یا قسمتی از تیر در قوس افقی قرار می گیرد.لازم است اثر نیروی گریز از مرکز(خارج از محوری بین خط و محور پل و نیز شیب عرضی)در محاسبات وارد می گردد.که از آیین نامه پل های راه و راه آهن استفاده می شود.

شاهتیرهایی که در قوس افقی واقع می شوند باید برای نیروی گریز از مرکز محاسبه شوند که به صورت افقی و در امتداد عمود بر خط مماس بر محور طولی شاه تیر اثر می کند .در محاسبه مقداراین نیرو حداقل شعاع قوس افقی مسیر و سرعت طرح در این شعاع در هر خط عبور در نظر گرفته می شود و در محاسبه آن اثر ضربه منظور نمیشود:

(۲-۲)

$$FC= KC. W$$

(۳-۲)

$$KC=V^2/Rg$$

در رابطه فوق، V سرعت طرح بر حسب متر بر ثانیه R شعاع انحنای محور اصلی شاهتیرها بر حسب متر و g ، شتاب ثقل زمین بر حسب متر بر مجذور ثانیه ،W وزن کل ناوگان و نیروی گریز ازمرکز بر حسب تن است که درلبه بالای شاه تیر ها اعمال می شود.

۲-۲-۵ :نیروی ناشی از نوسانات ناوگان :

با توجه به نشریه 139 و بر اساس بارگذاری ناوگان قطار، این نیرو برابر ۰,۲۵ بار یک محور قطار است که در جهت افقی بر روی سطح تماس با تیر ها اعمال می شود.

(2-4)

$$P = 0.25 * 11 = 2.25 \text{ ton}$$

این نیرو در قسمتهای مختلف عرشه پل اعمال شده و بدترین اثرات آن در نظر گرفته می شود.

۲-۲-۶ :بارگذاری پیاده روهای ویژه عوامل بهره برداری:

در محاسبه تیرهای اصلی پل ها ،بار زنده پیاده روهای ویژه عوامل بهره برداری به حساب نمی آیند.در محاسبه اعضا و قطعاتی که بار پیاده روهای ویژه عوامل بهره برداری را تحمل می کند باید بارزنده ای به میزان 4 کیلو نیوتن بر متر مربع در نظر گرفته شود .این بار همزمانی با بار قطار نداشته وباید در ترکیب بار جداگانه ای تنها برای کنترل تیر ها و المانهای سازه ای مد نظر قرار گیرد.

۲-۲-۷ :بارگذاری حرارتی:

اثر تغییر دمای یکنواخت با توجه به بند ۵-۱-۱ ایین نامه بارگذاری پل ها(نشریه ۱۳۹) بر اساس تغییر دمای 35 درجه محاسبه میشود .با توجه به قرار گیری تمامی ابعاد تیر در فضای محیطی یکسان، نیازی به در نظر گرفتن گرادیان حرارتی در محاسبات نمی باشد.

۲-۲-۸ :بار باد :