پوهنتون پولی تخنیک کابل
مجله علمی و تکنالوژی
جلد۵۲ - شماره ٤
حوت - سال ۱٤۰۲ - هـ.ش.
تاریخ دریافت اثر: ۱٤۰۳/۰٤/۳۱
تاریخ قبـولی اثر: ۱٤۰۳/۰٦/۰۵
P-ISSN: 2305 - 896X
KPU-JST

# مدل سازی پل گادر T- شکل کانکریتی مشتنج قبلی کش شده به روش اجزاء محدود

[۱*]پوهنیار عبدالباسط نوری، [۲]پوهنمل دوکتور مجتبی امین
[۱] استاد دیپارتمنت انجنیری شاهراه و ترانسپورتیشن، پوهنتون پولی تخنیک کابل، ناحیه پنجم، کابل، افغانستان
ایمیل آدرس: basetnoori@kpu.edu.af
۲ استاد دیپارتمنت انجنیری راه آهن، پوهنتون پولی تخنیک کابل، ناحیه پنجم، کابل، افغانستان
ایمیل آدرس: m.amin@kpu.edu.af

## خلاصه

*این مقاله به بررسی مدل سازی اجزای محدود [۲](FEM) و تحلیل پل های گادر T-شکل متشنج قبلی کش شده بعدی[۳] با استفاده از نرم افزار CSI Bridge می پردازد. گادر T-شکل کانکریتی به دلیل ماهیت قالب‌گیری و دوام خود به طور گسترده به شکل مشتنج قبلی مورد استفاده قرار می‌گیرند که کارایی مواد را برای وایه‌های بزرگ‌تر مکن می‌سازند.*

*این مقاله به جواب سوالات مربوط به روند مدل سازی، تأثیر روش اجزای محدود بر تحلیل و دیزاین، نمایش رفتار ساختمانی و مراحل شبیه‌سازی می‌پردازد. یک پل گادری T-شکل متشنج قبلی کش شده بعدی از نوع مقطع گادر نوع پنجم آشتو [۴] به منظور توضیح چالش‌های محاسبات دستی برای ساختمان‌های متشنج قبلی مدل‌سازی می‌شود. هدف این تحقیق پر کردن شکاف بین روش‌های سنتی و ابزارهای شبیه‌سازی مدرن است.*

*مدل سازی به روش اجزای محدود CSI Bridgeدرک دقیقی از رفتار ساختمان، تشنجات و تغییرشکل‌ها را ارایه می‌دهد. نقاط بحرانی از لحاظ تشنجات خمشی و برشی شناسایی می‌شوند که امکان بهبود طراحی هدفمند را فراهم می‌کند.*

*این مطالعه به کاربردی بودن مدل‌سازی روش اجزای محدود با استفاده از نرم افزار CSI Bridge تأکید، محیط کاربری-آسان و تأثیر آن بر تجزیه، تحلیل و دیزاین گادرهای T-شکل را بررسی می‌کند. پیشنهادات تحقیقات آینده شامل مطالعه عملکرد بلندمدت، استفاده از تکنیک‌های پیشرفته مدل‌سازی، اعتبارسنجی تجربی نتایج مدل سازی، توسعه استراتیژی حفظ و مراقبت پل‌ها و بهینه سازی پل‌های گادری T-شکل متشنج قبلی کش شده بعدی با استفاده از روش (FEM) می‌باشد.*

**اصطلاحات کلیدی:** روش اجزای محدود، متشنج قبلی، کش شده بعدی، گادر T-شکل، رفتار ساختمانی پل

---

۱* - مولف مسوول

2 - Finite Element Method

3 - Prestressed Post-tensioned I-girder Bridge

4 - American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) T-girder Type V

## ۱. مقدمه

پل‌های کانکریتی راه حلی مروج برای پل های با وایه های کوتاه و میان برد هستند. شکل‌گیر بودن مزیت بزرگ کانکریت است، یعنی می‌توان آن را به روش‌های مختلفی برای اهداف مختلف شکل داد. انواع پل‌های کانکریتی متداول عبارتند از: پل‌های چوکاتی با تخته (وایه های کوتاه)، پل‌های گادر با تخته (وایه های کوچک تا متوسط)، و پل های گادرچ‌های جعب‌های (وایه متوسط تا بزرگ).

کیبل‌های متشنج قبلی معمولاً در پل‌های کانکریتی استفاده می‌شوند. مزیت کیبل‌های متشنج قبلی این است که امکان استفاده بهتر از مواد در هر متر طول را فراهم می‌کند و بنابراین طراحی پل با وایه‌های بزرگتر را ممکن می‌سازد. کانکریت متشنج قبلی همچنین به گون‌های طراحی شده است که در طول عمر قابل استفاده خود درز دار نگردد که به طور قابل توجهی دوام ساختمان کانکریتی را افزایش می دهد. [۱] [۲]

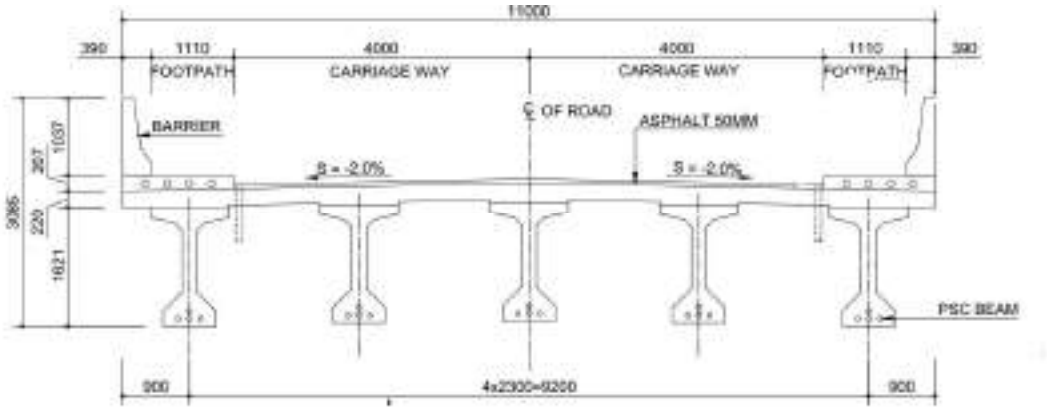
کیبل‌های متشنج قبلی معمولاً در امتداد جهت اصلی ساختمان پل، یعنی جهت طولی قرار می‌گیرد. برای یک ساختمان معمولی از نوع گادر، این به تقویت کننده اصلی تبدیل می‌شود و استفاده از تئوری گادر برای توزیع نیروی مقطع عرضی، یک روش نسبتاً مستقیم برای تحلیل و طراحی ارائه می‌دهد. با این حال، برای ساختارهای پیچیده و برای نمایش بهتر و صحیح پاسخ رفتار ساختمان‌ها، راه حل رایج استفاده از روش اجزاء محدود (FEM)[5] است.

عمدتاً از سه نوع عناصر در تحلیل روش اجزای محدود استفاده می شود. این عناصر میله، صفحه و عنصر جامد[6] هستند. این عناصر برای کاربردهای مختلف مناسب تر هستند و باید بسته به هدف تحلیل انتخاب شوند. تحلیل مدل به روش (FEM) تقریبی است و قادر به گرفتن هر اثری که در واقعیت وجود دارد نمی‌باشد. علاوه بر این، استفاده از یک مدل بسیار دقیق (به عنوان مثال عناصر جامد) برای اهداف طراحی، به دلایل چون زمان و منابع محاسباتی بالا، ناتوانی در تحلیل و بهینه‌سازی سریع و پیچیدگی فرآیند مدل‌سازی، می‌تواند بسیار غیر عملی باشد. بنابراین مهم است که تکنیک مدل سازی را انتخاب کنیم که عملی باشد تا الزامات فعلی و خروجی مورد نظر کدهای طراحی برآورده شوند. [۲] زمانی که تعداد عناصر ساختمانها افزایش یافته و مقاطع آن‌ها مغلق می‌گردد، تحلیل و طراحی چنین ساختمان‌ها با استفاده از محاسبات تحلیلی روش اجزای محدود دشوار می‌شود. به همین دلیل، برای سهولت کار، بسیاری از نرم‌افزارها برای مدل‌سازی ساختمان ها بروش اجزای محدود پل‌های کانکریتی متشنج قبلی توسعه یافته‌اند. در اینجا، استفاده از نرم‌افزار CSI Bridge به دلیل سادگی و کارایی در مدل‌سازی روش اجزای محدود پل‌های کانکریتی متشنج قبلی انتخاب شده است. این نرم‌افزار به طور خاص برای تحلیل این نوع ساختمان‌ها طراحی شده و امکانات گستردهای در زمینه تحلیل و دیزاین ارایه می‌دهد که تجربه کاربر را بهبود بخشیده و زمان و زحمت مراحل مختلف پروژه را کاهش می‌دهد

## ۲. ارایه مسئله

برای بیان مسئله، یک پل کانکریتی متشنج قبلی کش شده بعدی با گادر های مقطع T-شکل نوع پنجم آشتو برای این مطالعه در نظر گرفته شده است. شکل، ابعاد و سایر مشخصات مقطع در شکل ۱ نشان داده شده است. با افزایش تعداد عناصر و پیچیده شدن هندسه ساختمان، محاسبه تحلیلی ساختمان ها پیچیده‌تر می شود. این امر به ویژه برای ساختمان‌های کانکریتی متشنج قبلی صادق است.

5 - Finite Element Method
6 - Beam, Plane and Solid




*شکل ۱ مقطع پل مورد نظر برای مدل سازی به روش اجزای محدود*

از سوی دیگر، روش اجزای محدود روشی موثر و کارآمد برای تحلیل ساختمان‌های پیچیده است. پروسه دیزاین پل ارتباط محکمی با معیارهای دارد که باید رعایت شوند. برای دستیابی به این هدف، مدل‌های عددی که می‌توانند مقدار نیروها و تشنجات مقطعی را نشان دهند، که کد الزامات را برای آن‌ها تعیین می‌کند، مورد نیاز است.

گزینه‌های متعددی برای استفاده از مدل های عددی از طریق روش اجزای محدود با توجه به انواع عناصر وجود دارد. در میان این گزینه‌ها، دو گزینه به‌عنوان گزینه‌های عملی ظاهر می‌شوند: یک مدل متمرکز بر عناصر صفحه ای و یک مدل با استفاده از عناصر میل‌های به منظور درک بهتر تحلیل ساختمان‌ها در روش اجزای محدود، پل فوق با استفاده از نرم‌افزار CSI Bridge مدل سازی می‌گردد.

## ۳. اهداف تحقیق

۱. این تحقیق به منظور دست یابی به اهداف ذیل صورت گرفته است:
۲. انجام یک مدل سازی جامع به روش اجزای محدود (FEM) برای پل های گادری T–شکل متشنج قبلی کش شده بعدی مطابق با مشخصات پذیرفته شده؛
۳. مطالعه رفتار ساختمانی پل تحت ترکیبات مختلف باری؛
۴. شناسایی نقاط بحرانی پل از نظر تشنجات خمشی و برشی؛
۵. تشریح روش مدل سازی پل با استفاده از نرم افزار CSI Bridge.

## ۴. اهمیت تحقیق

این تحقیق در زمینه مطالعات پل‌های کانکریتی متشنج قبلی، اهمیت زیادی دارد. پل‌های کانکریتی با استفاده از کیبل‌های متشنج قبلی یکی از مهمترین ابتکارات انجنیری ساختمان هستند. این نوع پل‌ها به دلیل ویژگی‌های استثنایی خود، از جمله دوام بالا، ظرفیت باربری بیشتر، محدودیت در تغییر شکل‌ها، کاهش مقاطع عرضی و امکان دیزاین وایه‌های بزرگتر، به عنوان یک راه حل محبوب برای عبور از دریاها و ارتباط مناطق مختلف در سرک‌سازی به شمار می‌روند.

با بررسی و ارتقاء دقت مدل‌سازی و تحلیل گادر T–شکل متشنج قبلی، امکان بهبود تکنالوژی و دیزاین این نوع پل‌ها افزایش خواهد یافت. با تطابق نتایج حاصل از مدل‌سازی به روش اجزای محدود (FEM) با محاسبات تحلیلی و نتایج آزمایشات عملی، انجنیران و محققان می‌توانند بهترین و به‌روزترین راه‌حل‌ها را برای دیزاین و ساخت پل‌های کانکریتی متشنج قبلی ارائه دهند. این تحقیق به انجنیران ساختمان کمک می‌کند تا با درک دقیق‌تر از رفتار ساختاری گادر

T-شکل متشنج قبلی، دیزاین‌های خود را بهبود بخشند و پروژه‌های ساختمانی خود را با اطمینان بیشتری انجام دهند. همچنین، این تحقیق می‌تواند به کاهش هزینه‌های ساخت و افزایش دوام ساختمان‌ها کمک کند، که از نظر اقتصادی نیز اهمیت زیادی دارد.

با انجام این تحقیق، می‌توان از ترکیب دقیق ارقام های تحلیلی و شبیه‌سازی‌های مدرن به عنوان یک ابزار قدرتمند برای بهبود دیزاین و اجرای پل‌های کانکریتی متشنج قبلی استفاده کرد. این اقدام نه تنها به بهبود عملکرد ساختمان‌ها کمک می‌کند بلکه در نهایت به بهره‌وری و ایمنی بیشتر زیرساخت‌های جادهای و ارتباطات عمومی مناطق مختلف کشور کمک خواهد کرد.

## ۵. سوالات تحقیق

۱. چگونه مدل سازی پل گادر T-شکل متشنج قبلی کش شده بعدی به روش اجزای محدود (FEM) بر تحلیل و دیزاین ساختمان‌ها تأثیر می‌گذارد؟

۲. شبیه سازی به روش اجزای محدود تا چه حد می‌تواند رفتار واقعی ساختمانی پل‌ها را بیان نماید؟

## ۶. فرضیه‌های تحقیق

مدل سازی جامع به روش اجزای محدود (FEM) با استفاده از نرم افزار CSI Bridgeمی‌تواند رفتار واقعی ساختمانی و یکپارچگی پل گادر T-شکل متشنج قبلی کش شده بعدی را تحت ترکیب بارهای مختلف بررسی نماید.

انتظار می‌رود که تحلیل و تفسیر نتایج به دست آمده از مدل سازی، نقاط بحرانی پل را از نظر تشنجات خمشی و برشی تشخیص می‌نماید و دیزاین و حفظ و مراقبت این نوع پل‌ها را سمت می‌دهد.

مدل سازی به روش اجزای محدود (FEM) می‌تواند ابزار موثر و کاربردی برای بیان رفتار واقعی ساختمانی پل در مطابقت به معیارهای قبول شده [۴] است.

## ۷. پیشینه تحقیق

مدل‌های کامپیوتری معمولاً در انجنیری پل برای پیش‌بینی رفتار پل در شرایط مختلف استفاده می‌شوند. تکنیک‌های مدل‌سازی مختلفی مانند مدل‌های ستون فقرات، چوکاتی، شبکه ای، پوسته چوکات و مدل‌های پوسته کامل[۷] برای به تصویر کشیدن پاسخ ساختاری پل‌ها مورد بررسی قرار گرفته‌اند (شکل‌های ۲ و ۳). هر تکنیک بر مفروضات خاصی متکی است و دقت آن‌ها به مناسب بودن این مفروضات در تولید نتایج ثابت بستگی دارد در حالی که این تکنیک‌ها می توانند پاسخ‌های قابل مقایس‌های را به همراه داشته باشند، قابلیت اطمینان پیش بینی‌ها به اعتبار مفروضات اساسی بستگی دارد. انتخاب یک رویکرد مدل‌سازی مناسب مستلزم بررسی دقیق ویژگی‌ها و پیچیدگی‌های پل برای نمایش دقیق رفتار دنیای واقعی آن است.




*شکل ۲ (a) مدل ستون فقرات؛ (b) مدل ستون فقرات با اتکا های اصلاح شده[3]*

7 - Spine, frame, grid, frame shell models, and full shell models




*شکل ۳ (a) مدل پوسته چوکاتی؛ (b) مدل پوسته چوکاتی با نقطه ورودی (c) مدل پوسته چوکاتی با انتقال گادر[۳]*

تحقیق توسط [۵]بر اهمیت روش های مدل سازی در درک رفتار گادرهای کانکریتی متشنج قبلی تاکید می‌کند. روش اجزای محدود (FEM) برای نمایش دقیق رفتار پیچیده آن‌ها در شرایط بارگذاری مختلف مورد توجه قرار گرفته است. [۶]اعتبار FEM را در تحلیل گادرهای کانکریتی متشنج قبلی بیشتر تایید می‌کند. روش اجزای محدود درک دقیقی از رفتار آن‌ها را ارائه می‌دهد و به یک انتخاب بهتر در این زمینه تبدیل شده است.

در زمینه مدل‌سازی گادرهای پل کانکریتی متشنج قبلی، یک بررسی قابل توجه شامل یکپارچه‌سازی مدل غشای نرم‌شده دورهای برای کانکریت متشنج قبلی[۸] در برنامه "شبیه‌سازی ساختمان‌های کانکریتی[۹] است. این یکپارچه‌سازی از طریق استفاده از چارچوب سیستم باز برای شبیه‌سازی انجنیری زلزله[۱۰] انجام شده است [۷]. این مطالعه به‌طور خاص بر قابلیت‌های پیش‌بینی مدل CSMM-PC زمانی که به گادرهای تحت بارهای یکنواخت و ستون‌های تحت بارهای دورهای اعمال می‌شود، تمرکز داشت.

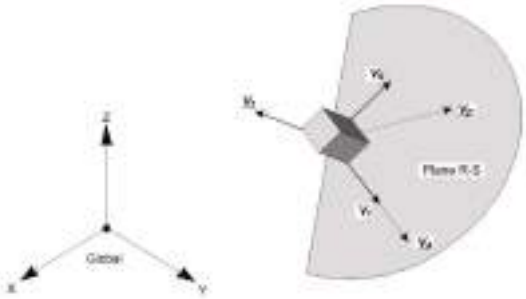
هم‌چنان، استفاده از مدل‌سازی اجزای محدود سه بعدی[۱۱] برای ارزیابی سلامت ساختمانی در پل‌های کانکریتی متشنج قبلی نتایج امیدوارکننده‌ای را نشان داده است. این رویکرد نوآورانه که از عناصر جامد در مدل اجزای محدود بهره می‌برد، در مقایسه با تحلیل‌های میله ساده سنتی دقت بیشتری را به نمایش گذاشته است. استفاده از شبکه بندی نقش‌های نه تنها به کاهش هزینه محاسباتی کمک می‌کند، بلکه امکان تقسیم پل به اجزای قابل مدیریت برای تحلیل دقیق‌تر را فراهم می‌سازد. علاوه بر این، این روش مدل‌سازی مدیریت مؤثر غیرخطی‌ها[۱۲] را از طریق شرایط تماس و تکنیک‌های زیرساختی ممکن می‌سازد و منجر به کاهش قابل توجهی در تلاش محاسباتی می‌شود. نرم افزار های مرتبط به FEM برای تحلیل ساختمان‌های پیچیده در انجنیری ساختمان ضروری است. [۸]

CSI Bridge یک نرم‌افزار قوی بر اساس FEM در تحلیل‌های استاتیکی و دینامیکی، ارزیابی‌های خطی و غیرخطی و شبیه‌سازی‌های ساخت و ساز مرحل‌های می‌باشد. از انواع مختلف عناصر، محدودیت‌ها و گزینه‌های بارگذاری پشتیبانی می‌کند و آن را برای مدل‌سازی ساختمان‌های متنوع انعطاف‌پذیر می‌کند. محیط کاری کاربر-پسند و ظرفیت زیاد نرم‌افزار CSI Bridge، کارایی آن را در مدیریت مدل‌های پیچیده افزایش می‌دهد.

CSI Bridge یک رویکرد عنصر محور[۱۳] را اتخاذ می‌کند و به طور خودکار اعضای فزیکی را به عناصر برای تجزیه و تحلیل تبدیل می‌کند [۱]. اتصالات با عناصر نقطه ای نشان داده می‌شوند که امکان تعریف درجه‌های آزادی، شرایط سرحدی، مشخصات و بارهای عناصر را فراهم می‌کنند. این نرم افزار عناصر ساختاری پیشرفت‌های را ارائه می دهد و می‌تواند کیبل ها را برای اثرات تشنج قبلی مدل کند.

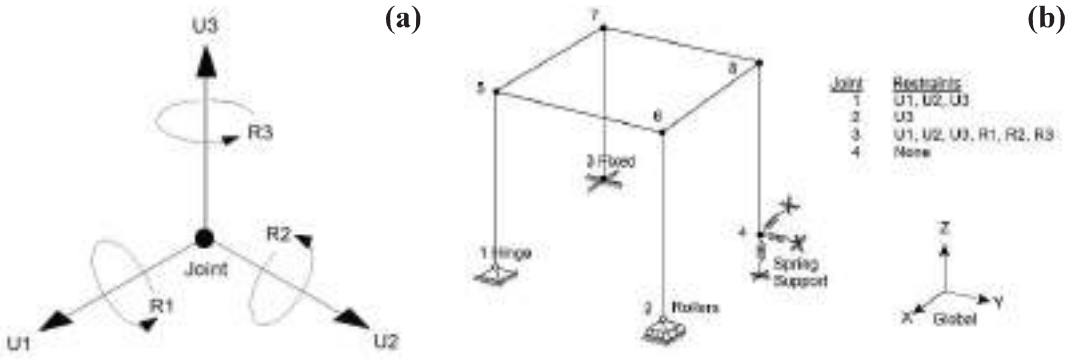
8 - Cyclic Softened Membrane Model for Pre-stressed Concrete (CSMM-PC)
9 - Simulation of Concrete Structures (SCS)
10 - Open System for Earthquake Engineering Simulation (OpenSees)
11 - 3D Finite Element Modeling
12 - Nonlinearities
13 - Object-based approach

CSI Bridge از یک سیستم مختصات سه بعدی، راست دست و مستطیلی استفاده می‌کند. سیستم مختصات جهانی محور عمودی را به صورت Z ( + به سمت بالا) و صفحه X-Y را به صورت افقی تعریف می‌کند. سیستم مختصات جایگزین را می‌توان برای جهات مختلف به سمت بالا تعریف کرد. اتصالات در مدل تجزیه و تحلیل توسط عناصر نقطه‌ای با سیستم مختصات محلی، تعیین درجه آزادی، محدودیت‌ها، خواص و بارها نشان داده می‌شوند.



شکل ۴ سیستم مختصات سه بعدی [۸]

هر مفصل دارای شش درجه آزادی است، سه بیجاشدگی و سه چرخش در امتداد سیستم مختصات محلی خود.CSI Bridge عناصر ساختاری پیشرفته‌ای مانند عناصر چوکات، کیبل، پوسته، صفحه و عنصر جامد را برای مدل سازی دقیق ساختمان‌های پیچیده ارایه می‌دهد. موارد بار، ترکیب بار، و تحلیل بار متحرک ویژگی‌های حیاتی برای اعمال بارها، تحلیل پاسخ‌های ساختمانی و ارزیابی ساختمان‌های پل تحت بارهای زنده ویژگی‌های CSI Bridge هستند.




شکل ۵ (a) درجه آزادی عمومی مفاصل (b) درجه آزادی چوکات [۸]

تحقیقات انجام شده نشان‌دهنده اهمیت روش‌های مدل‌سازی برای درک بهتر رفتار گادرهای کانکریتی متشنج قبلی است. در این راستا، روش اجزای محدود (FEM) به‌عنوان ابزاری کارآمد برای مدل‌سازی رفتار پیچیده این گادرها در شرایط بارگذاری مختلف می‌باشد. اهمیت استفاده از روش‌های عددی اجزای محدود (FEM) در تحلیل و دیزاین پل‌ها و مطالعه رفتاری پل در مقابل ترکیبات مختلف باری و نیز کارایی و موثریت استفاده از نرم افزار CSI Bridge در مدل سازی پل‌ها به روش اجزای محدود، در تحقیقات صورت گرفته بیان گردید. این در حال است که با وجود استفاده گسترده از مدل‌سازی به روش اجزای محدود، یک ارزیابی جامع و مقایس‌های بین این مدل‌ها برای شناسایی مناسب‌ترین روش‌ها در شرایط مختلف باری و محیطی همچنان ضروری است. بناء در چارچوب این تحقیق، مدل‌سازی پل کانکریتی گادر T–شکل متشنج قبلی کش شده بعدی به روش اجزای محدود با استفاده از نرم افزار CSI Bridge صورت می‌گیرد.

## ۸. روش تحقیق

این تحقیق بصورت کتابخان‌های صورت گرفت. در اولین مرحله، پیشینه تحقیق صورت گرفت که طی آن مقالات تحقیقی، کتب و استندردهای مرتبط به موضوع تحقیق مورد مطالعه و تحلیل قرار گرفت. در نتیجه این مطالعات، آشکار گردید که تحقیقات انجام شده تاکید بر اهمیت استفاده از روش‌های عددی اجزای محدود (FEM) برای تحلیل و دیزاین پل‌های کانکریتی متشنج قبلی می‌کند. در ضمن معلوم گردید که با مغلق شدن مقطع گادرهای پل‌ها و نیز افزایش تعداد عناصر ساختمان، تحلیل و دیزاین پل‌ها به روش عددی اجزای محدود نیز مغلق‌تر گردیده که در نتیجه ضرورت به مدل‌سازی با استفاده از نرم افزارهای کمپیوتری مرتبط به اجزای محدود می‌باشد. با وجود استفاده گسترده از روش مدل سازی به روش اجزای محدود، نیاز است تا یک ارزیابی جامع بین حالت ها و ترکیبات مختلف باری بالای پل صورت گیرد. بناء درین تحقیق، مدل‌سازی پل کانکریتی گادر T–شکل متشج قبلی کش شده بعدی به روش اجزای محدود با استفاده از نرم افزار CSI Bridge صورت می‌گیرد.

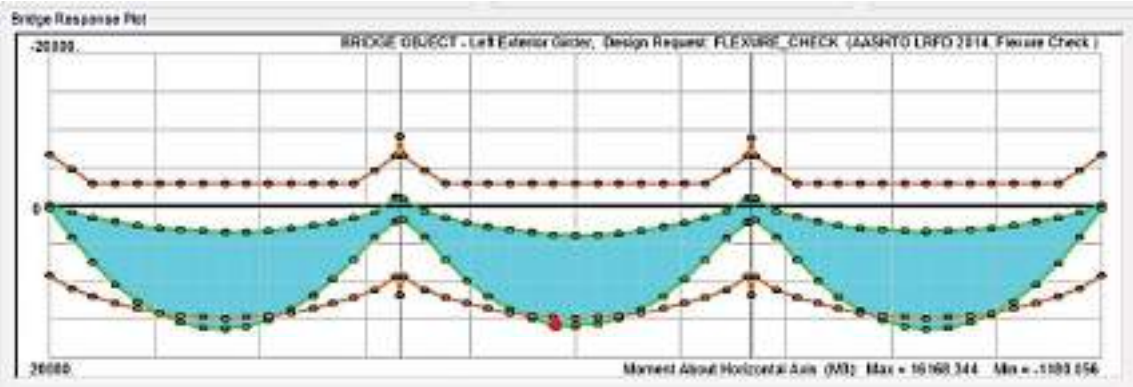
در مرحله دوم، ارقام مورد نیاز تحقیق از وزارت محترم فواید عامه امارت اسلامی افغانستان اخذ گردید. این ارقام مربوط پل شاه‌راه حیرتان در شمال افغانستان است که در بالای کانال قشپه [۹] با طول عمومی ۹۰ متر، سه وایه ۳۰ متره و عرض کلی ۱۱ متر و به صورت مشتنج قبلی کش شده بعدی طرح، دیزاین و ساخته شده است. داده های پل مذکور برای محاسبات دستی و نیز وارد کردن به نرم افزار CSI Bridge ترتیب گردیده و محاسبات مورد نیاز برای تهیه تعدادی از ارقام مورد نیاز نرم افزار صورت گرفت. در مرحله بعد، با استفاده از ارقام ذکر شده، پل مذکور در نرم افزار CSI Bridge مدل سازی و تحلیل گردید. نتایج بدست آمده از مدل سازی، مطابق اهداف و سوالات تحقیق مورد مطالعه قرار گرفت و با مشخصات پل دیزاین شده و نیز استندرد های قبول شده [۴] [۱۰] و [۱۱] مقایسه گردید که در نهایت نتایج در مطابقت به استندردهای مذکور بود.

## ۹. نتیجه

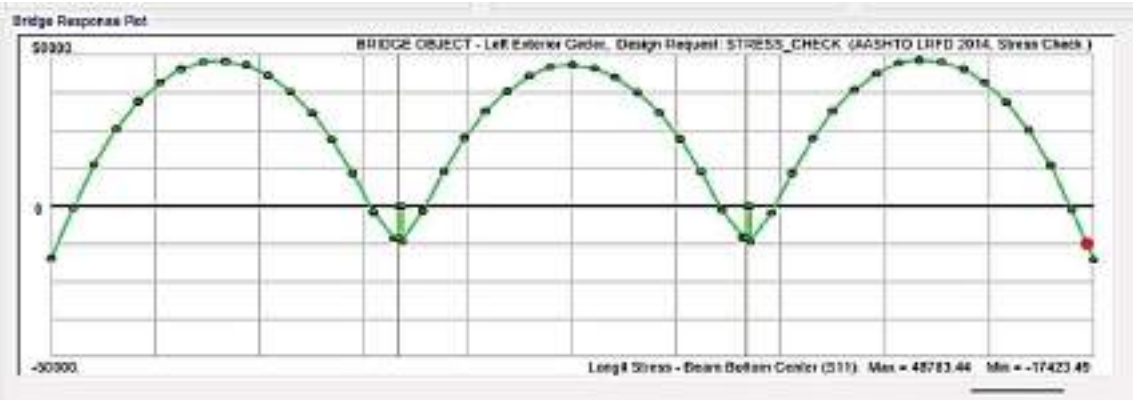
با در نظر داشت اهداف و سوالات تحقیق و نیز فرضیات صورت گرفته، پل مدل سازی گردید و نتایج آن مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت. ترکیبات بارهای مختلف از جمله بارهای مرده، بارهای متشنج قبلی، بارهای زنده، بارهای حرارتی، بارهای زلزله، بارهای بریک گرفتن، بارهای باد، بارهای برف، بارهای یخ، بارهای پوشش سطح پل و بارهای کتاره برای مطالعه پل اعمال شد. این تجزیه و تحلیل، بینش‌های ارزشمندی در مورد تشنجات، مومنت، نیروهای برشی، بیجاشدگی و انحراف‌ها، در میان سایر داده‌ها ارایه کرد که برای ارزیابی عملکرد ساختاری و یکپارچگی پل به دقت مورد بررسی قرارگرفت.

نقاط بحرانی از نظر تشنجات خمشی و برشی در طول پل شناسایی شد. تجزیه و تحلیل FEM مکان‌های خاصی را مشخص کرد که در آن‌ها تشنجات در حد بحرانی بوده و به دیزاین رهنمایی‌های لازم را برای افزایش استحکام و دوام پل ارایه نمود.

بعد از مطالعه و تحلیل نتایج بدست آمده، معلوم گردید که گادرهای بیرونی پل بیشترین تشنجات، مومنت انحنایی، قوه های بررشی و نیز تغییر مکان‌ها را دارد که این پارامتر ها در قسمت وسط وایه به حد بحرانی است. اشکال ۶، ۷ و ۸ به ترتیب مومنت، تشنجات و قوه های برشی اعظمی را بالای گادر بیرونی پل نشان می‌دهند.




*شکل ۶ مومنت های خمشی به امتداد پل بالای گادر بیرونی پل [۱۲]*




*شکل ۷ قوه های برشی به امتداد پل [۱۲]*




*شکل ۸ تشنجات اعظمی در امتداد گادر بیرونی پل [۱۲]*

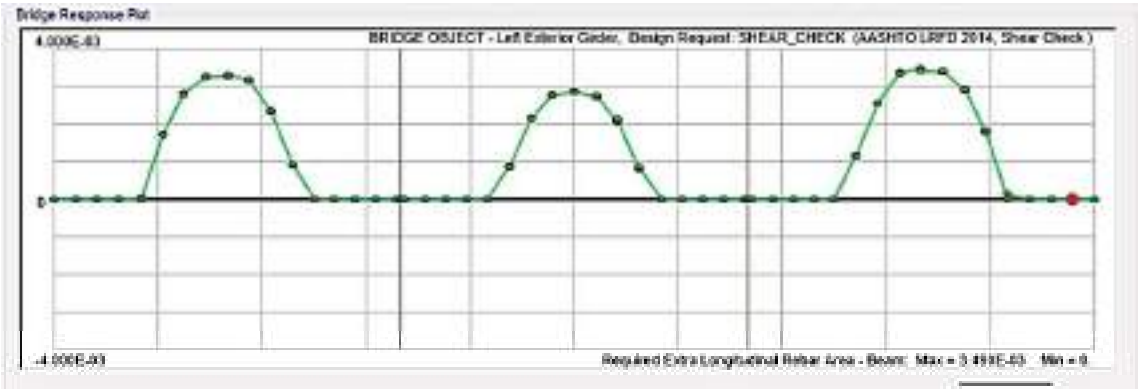
روش مدل‌سازی با استفاده از نرم افزار CSI Bridge شامل ایجاد مدل پل، معرفی بارها، ترکیب عناصر و مشخصات پل، تحلیل و انجام دیزاین بود. این نرم افزار ارزیابی رفتار ساختمانی، بررسی‌های دیزاین و بکارگیری کدهای طراحی مانند دستورالعمل‌های [۴] را تسهیل نموده است. قابلیت‌ها و ویژگی‌های نرم افزار برای مدل‌سازی پل‌های گادر T–شکل متشنج قبلی کش شده بعدی، مؤثر و کاربردی بودند. شکل۹، مدل ایجاد شده و نیز رفتار پل را در برابر بارهای واریده نشان می‌دهد.




شکل ۹ (a) مدل سه بعدی پل در CSI Bridge (b) رفتار پل در مقابل بار های وارد [۱۲]

## ۱۰. مناقشه

نتایج بدست آمده نشان دهنده رفتار پل در برابر ترکیبات متخلف بار در نرم افزار CSI Bridge می‌باشد. هم چنان تحلیل ساختمانی پل در مطابقت به معیارهای قبول شده استندرد [۴] می‌باشد. نتایج تحلیل هم چنان نشان می‌دهند که گادر بیرونی بیشترین تشنجات را متحمل می‌شود. قسمیکه در شکل ۶ دیده می‌شود مقدار مومنت ایجاد شده در قسمت وسط گادر از اثر بارهای وارده بیشتر از ظرفیت آن بود و نرم فزار مقدار سیخ‌های بیشتری که باید در برابر این مومنت‌های اضافی افزود گردد را تعیین می نماید. شکل ۱۰ مقدار سیخ‌های مورد نیاز را در برابر مومنت‌های خمشی در امتداد پل برای گادر بیرونی نشان می‌دهد.




شکل ۱۰ مقدار سیخ بیشتر مورد نیاز برای گادرهای بیرونی [۱۲]

## ۱۱. نتیجه گیری

این تحقیق از روش مدل‌سازی جامع روش اجزای محدود (FEM) برای ارزیابی عملکرد ساختاری پل‌های گادر T–شکل متشنج قبلی کش‌شده بعدی استفاده کرد. ترکیبات بارهای مختلف، از جمله بارهای مرده، بارهای تنشج قبلی، بارهای زنده، بارهای حرارتی، بارهای زلزله، بارهای بریک گرفتن، بارهای باد، بارهای برف، بارهای یخ، بارهای سطح پوشش پل و بارهای کتاره اعمال و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. این مطالعه نقاط بحرانی را از نظر تشنجات خمشی و برشی شناسایی کرد که امکان طراحی استراتیژی‌های تقویتی برای بهبود استحکام و دوام پل را فراهم کرد. عملی بودن روش مدل‌سازی با استفاده از نرم افزار CSI Bridge نشان داده شد و نمایش دقیق تجزیه و تحلیل و بررسی‌های طراحی مطابق با دستورالعمل‌های AASHTO ارایه شد.

یافته‌های تحقیق، رفتار ساختمانی پل را تحت بارهای مختلف برجسته می‌کند و بر اهمیت شناسایی نقاط بحرانی برای اطمینان از ایمنی تأکید می‌کند. نرم افزار CSI Bridge ابزاری کاربردی و موثر برای مدل سازی و تحلیل ساختمان پل است. با این حال، محدودیت‌ها در مفروضات، خواص مواد، و ورودی‌های بار تایید شد، که راه‌هایی را برای تحقیقات آینده برای افزایش قابلیت اطمینان و دقت روش مدل‌سازی پیشنهاد می‌کند.

## ۱۲. پیشنهادات

با استفاده از نتیجه گیری این تحقیق، پیشنهادات ذیل صورت می‌گیرد:

**۱**- برای اطمینان بیشتر از قابلیت اطمینان و دقت نتایج مدل‌سازی FEM، پیشنهاد می‌گردد که نتایج مدل سازی و تحلیل پل اعتبار دهی تجربی گردد. به عبارت دیگر رفتار پل در لابراتوار به صورت تجربی آزمایش گردد و نتایج آن با نتایج مدل سازی بروش اجزای محدود تطابق داده شود؛

**۲**- با در نظر داشت وضعیت وسایط باربری بلند تونژ موجود در افغانستان، که بخاطر انتقال بار بیشتر در طول و ارتفاع بادی آنها افزوده اند، توصیه می‌گردد که در تحقیقات آینده از بارهای وسایط بلند تونژ تحقیق شده و پیشنهادی پوهنحی انجنیری ساختمان‌های ترانسپورتی پوهنتون پولی تخینک کابل استفاده گردد.

**۳**- روش‌های بهینه‌سازی را برای بهبود دیزاین پل‌های گادر T-شکل متشنج قبلی کش‌شده بعدی بررسی شود. برای افزایش ظرفیت باربری و عملکرد کلی پل، عواملی مانند انتخاب مواد، شکل مقطع و سطوح تشنج قبلی در نظر گرفته شود.

## ۱۳. مآخذ:

[1] I. Computers & Structures, “CSI Analysis Reference Manual,” Comput. Struct., 2013.

[2] A. Jonsson and J. Eriksson, “Modelling Techniques for Post-tensioned Concrete Slab Bridges,” 2017.

[3] J. Chandra, N. Anwar, and D. Rayamajhi, “Different Techniques for the Modeling of Concrete I-Girder Bridges,” IABSE Symp. Bangkok 2009 Sustain. Infrastruct. - Environ. Friendly, Safe Resour. Effic., vol. 96, no. June, pp. 136–145, 2009, doi: 10.2749/222137809796089061.

[4] A. A. of S. H. and T. O. AASHTO, AASHTO LRFD BRIDGE, no. June. American Association of State Highway and Transportation Officials, 2012.

[5] K. Thanushree, R. S., Thangamani, K., & Kavitha, “Modeling Techniques of Prestressed Concrete Girder: A Review,” Int. J. Eng. Res. Technol., 2016.

[6] Y. Chai, C., Tong, Y., Zhang, J., Wu, H., & Huang, “Modeling and Experimental Validation of Prestressed Concrete Girders Using the Finite Element Method,” Adv. Civ. Eng., vol. 1, no. 12, 2020.

[7] R. H. A. Laskar1, “Modeling of Prestressed Concrete Bridge Girders A.,” Proc. 12th Int. Conf. Eng. Sci. Constr. Oper. Challenging Environ. - Earth Sp. 2010, pp. 2870–2887, 2010.

[8] S. Schommer, V. H. Nguyen, S. Maas, and A. Zürbes, “ScienceDirect Model updating for structural health monitoring using static and dynamic measurements,” Procedia Eng., vol. 199, pp. 2146–2153, 2017, doi: 10.1016/j.proeng.2017.09.156.

[9] National Development Corporation, “KHUSH TEPA CANAL - HIRATAN HIGHWAY PSC BRIDGE,” Mazar-e-Sharif, 2022.

[10] A. N. S. A. ANSA, AFGHAN BRIDGE DESIGN CODE { ABDC ). 2012.

[11] E. G. Nawy, “Reinforced Concrete: A Fundamental Approach.” p. 915, 2009. [Online]. Available: https://books.google.com/books?id=fHCDqh_7-oEC&pgis=1
[12] Computers and Structures INC, “CSIBridge v24.20 Advanced.”

## بیوگرافی‌مولف

**پوهنیار عبدالباسط نوری استاد پوهنځی ساختمان‌های ترانسپورتی پوهنتون پولی‌تخنیک کابل**

محترم پوهنیار عبدالباسط نوری استاد پوهنځی ساختمان‌های ترانسپورتی پوهنتون پولی‌تخنیک کابل درسال ۱۳۶۸ در ولایت میدان وردک تولد و درسال ۱۳۹۰، بعد ازختم لیسه، شامل دیپارتمنت انجنیری ساختمان‌های ترانسپورتی پوهنځی ساختمانی پوهنتون پولی‌تخنیک کابل گردیده و در سال ۱۳۹۴ از آن پوهنځی به سویه لیسانس فارغ‌التحصیل. موضوع از سال ۱۳۹۵ الی ۱۳۹۹ به حیث انجنیر دیزاین سرک و مدیر عمومی سنجش و برآورد در شاروالی کابل ایفای وظیفه نموده و از سال ۱۳۹۹ به این طرف منحیث عضو کادرعلمی و استاد در پوهنځی ساختمان‌های ترانسپورتی ایفای وظیفه می‌نماید. هم‌چنان موصوف داری مدرک ماستری در رشته انجنیری ساختمان‌های ترانسپورتی از پوهنتون پولی تخنیک کابل می‌باشد.

**پوهنمل دوکتور مجتبی امین استاد پوهنځی ساختمان‌های ترانسپورتی پوهنتون پولی‌تخنیک کابل**

محترم پوهنمل دوکتور مجتبی امین استاد پوهنځی ساختمان‌های ترانسپورتی پوهنتون پولی‌تخنیک کابل درسال ۱۳۶۶ درشهرکابل تولد درسال ۱۳۸۴ بعد ازختم لیسه شامل پوهنځی ساختمان‌های ترانسپورتی پوهنتون پولی‌تخنیک کابل گردیده و در سال ۱۳۸۸ از آن پوهنځی فارغ‌التحصیل و از سال ۱۳۸۹ به این طرف منحیث عضو کادرعلمی و استاد درپوهنځی ساختمان‌های ترانسپورتی ایفای وظیفه می‌نماید .هم‌چنان موصوف داری مدرک ماستری در رشته سترکچر از انستیتوت تکنالوژی آسیایی( تایلند و دکتورا انجنیری سترکچر و میکانیک ساختمان از پوهنتون کیوشو کشورجاپان می باشد.