

یادداشت فنی

بررسی رفتار غیرخطی عرشه پلهای بتن آرمه به کمک روش اجزای محدود

علی خیرالدین، دانشیار، دانشکده مهندسی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

علیرضا مرتضایی، دانشجوی دکتری سازه، عضو هیات علمی گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سمنان، سمنان، ایران

E-mail: kheyroddin@semnan.ac.ir

چکیده

در بسیاری از موارد ضرورت توسعه ایجاب می‌کند که از یک مسیر برای بارهای سنگین‌تر و سرعت بیشتر استفاده شود. در بررسی قابلیت مسیر برای عبور بارهای جدید، پلهای یکی از بخشهای مهم‌اند که برای تعیین مقاومت باقیمانده آنها علاوه بر مشخصات اسمی باید مسائلی مانند گذشت زمان، توزیع طولی و عرضی بار را در نظر گرفت. همچنین به دلیل تغییر در استانداردهای طراحی و افزایش حجم ترافیک و بارها، درصد زیادی از پلهای قدیمی به بهسازی نیاز دارند. اغلب گزینه انتخاب بین ساخت یک پل جدید و بهسازی نمونه‌های جدید اغلب مشکل است، بنابراین یک عامل اساسی در تصمیم‌گیری، داشتن اطلاعات کافی درباره رفتار عرشه و مقاومت پل است. در این مقاله به بررسی رفتار غیرخطی عرشه پلهای بتن آرمه پرداخته شده و اثرات افزایش مقاومت خمشی و شکل‌پذیری این گونه پلهای که ناشی از عمل قوسی (اثر غشایی فشار) است، مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این راستا، از روش اجزای محدود غیرخطی استفاده شده و نتایج تحلیل نشان می‌دهند که تیرهای T شکل با بال تحت فشار مقاومت و شکل‌پذیری بیشتری نسبت به تیرهای مستطیل دارند. همچنین به دلیل شرایط انتهایی تیرها که سبب ایجاد نیروی فشاری در دال می‌شود (اثر غشایی فشار)، مقاومت و سختی سازه افزایش می‌یابند.

واژه‌های کلیدی: تحلیل غیرخطی، عرشه پلهای بتن آرمه، شکل‌پذیری، بال فشاری، اثر غشایی فشار

۱. مقدمه

مشخص شود. همچنین به دلیل تغییر استانداردهای طراحی، افزایش حجم ترافیک و بارها، درصد زیادی از پلهای قدیمی نیاز به بهسازی دارند. در این راستا، اغلب انتخاب گزینه‌ای بین ساخت یک پل جدید و مقاوم‌سازی نمونه‌های موجود وابسته به بررسی رفتار دقیق غیرخطی پل، مقاومت و شکل‌پذیری عناصر متشکله آن است. متأسفانه پاسخ غیرخطی و غیرالاستیک، مشخصه‌های باز توزیع بار و مقاومت نهایی پلهای چند دهانه را نمی‌توان به طور واقعی و با استفاده از روندهای معمول و ساده موجود در طراحی ارزیابی کرد. پیش‌بینی این رفتار، نهایتاً نیازمند آزمایش‌های گسترده

پل‌ها از سازه‌های بسیار مهم و شریانی در زیر ساختار آبادانی هر کشورند. این سازه‌ها به دلیل اهمیت ارتباطات در راه‌ها بسیار مورد توجه بوده و همانند سایر سازه‌ها سابقه تحقیقاتی بسیاری دارند. توسعه حمل و نقل ریلی در بسیاری از موارد ایجاب می‌کند که بهره‌برداری از یک مسیر موجود برای بارهای سنگین‌تر و نیز سرعت بیشتر صورت گیرد.

در این میان بررسی قابلیت مسیر برای عبور بارهای جدید ضروری است. در بررسی یک مسیر، پلهای یکی از بخشهایی هستند که باید با دقت مورد مطالعه قرار گیرند و ظرفیت باقیمانده آنها

داشت و توسط گرادی و همکاران [۱] در سال ۱۹۹۵ در آزمایشگاه مورد آزمون قرار گرفته بود، مجدداً به کمک روش اجزای محدود مورد بررسی قرار گرفت.

دال بتن آرمه مورد آزمایش ۲/۳۱ متر طول، ۱/۳۸ متر عرض و ۱۹۱ میلی‌متر ضخامت داشت. این دال در قسمت فوقانی و تحتانی مسلح شده بود. بار به صورت گسترده در مساحتی به اندازه 610×406 میلی‌متر در مرکز دال وارد می‌شد و به منظور تعیین تغییرشکل دال، کرنش سنجهایی در دو راستای طولی و عرضی به آرماتورهای فوقانی و تحتانی و همچنین به سطوح فوقانی و تحتانی بتن متصل شده بودند.

به دلیل آن که دال در دو راستا متقارن بود، فقط امکان مدل کردن $\frac{1}{4}$ فایل موجود داشت. تغییرشکل دال، توزیع تنش، ترک‌خوردگی و شروع آن، سه نتیجه مهم بودند که از مدل به دست آمدند و با مقادیر حاصل از نتایج آزمایشگاهی مقایسه شدند.

نتایج آزمایشگاهی نشان دادند که ترکهای خمشی، ابتدا در بار ۷۷ کیلونیوتن شکل گرفتند. این ترکها به طور جانبی همراه با افزایش بار در دو جهت X, Y تشکیل شدند (عرض ترکهای راستای X بزرگ‌تر بودند) در حالی که مدل اجزای محدود شروع ترک خوردگی را در بار ۸۰ کیلونیوتن نشان داد که میزان خطای آن نسبت به نتایج آزمایشگاهی در حدود ۴ درصد بود.

شکل ۱، پیش‌بینی تحلیلی تنش بتن را در سطوح فوقانی و تحتانی دال در دو جهت طولی و عرضی در مرکز دال نشان می‌دهد. بر اساس این نتایج، بیشینه تنش فشاری طولی در سمت فوقانی دال برابر ۲۷/۶ مگاپاسکال پیش‌بینی شد. بیشینه تنش اندازه‌گیری شده برابر ۲۸/۹ مگاپاسکال گزارش شد. با وجود این، بیشینه تنش فشاری عرضی پیش‌بینی شده توسط مدل تقریباً ۱۳/۸ مگاپاسکال و بیشینه تنش فشاری عرضی اندازه‌گیری شده تقریباً ۲۰/۳ مگاپاسکال بود.

شکل ۲، تنش محوری در فولادهای طولی را به کمک مدل المان محدود پیش‌بینی شده نمایش می‌دهد. تنش کششی در لایه تحتانی به سرعت افزایش یافته و به حدود ۲۰۰ کیلونیوتن می‌رسد که نشان می‌دهد زمانی که بتن ترک می‌خورد، فولاد درصد بیشتری از تنش را تحمل می‌کند. همزمان با افزایش بار، محور خشی از فولاد تحتانی دور شده و تنش محوری به طور فزاینده‌ای افزایش می‌یابد.

یا روشهای تحلیلی پیشرفته است. در بیشتر حالات، روشهای تحلیلی نسبت به آزمایش‌های میدانی و آزمایشگاهی اقتصادی‌ترند و به زمان کمتری نیاز دارند. علاوه بر مطالعاتی که درباره رفتار مواد صورت گرفته، مطالعات زیادی در مورد ارزیابی ظرفیت باربری و دیگر مشخصه‌های پلها نیز صورت گرفته است. این بررسی‌ها و مطالعات نشان دادند که بسیاری از سازه‌ها، ظرفیت باربری بیشتری نسبت به ظرفیتی که آئین نامه تعیین می‌کند، دارند.

۲. اهداف

این تحقیق شامل مدل‌های اجزاء محدود غیرخطی است که به منظور بررسی رفتار غیرخطی عرشه پلهای بتن آرمه از برنامه غیرخطی لایه‌ای اجزای محدود NONLACS2 استفاده شده و برنامه‌های آزمایشگاهی موجود نیز به منظور بررسی صحت عملکرد مدل‌های اجزای محدود بکار رفته‌اند. هدف اولیه این مقاله، تعیین یک روش آسان، مطمئن و دقیق برای تحلیل عرشه پلهای بتن آرمه است. هدف دوم، تعیین توزیع تنش و کرنش در طول عرشه پلهای بتن آرمه و بررسی رفتار غیرخطی اعم از مقاومت و شکل‌پذیری و عواملی است که سبب افزایش باربری و اضافه مقاومت این گونه عرشه‌ها می‌شوند.

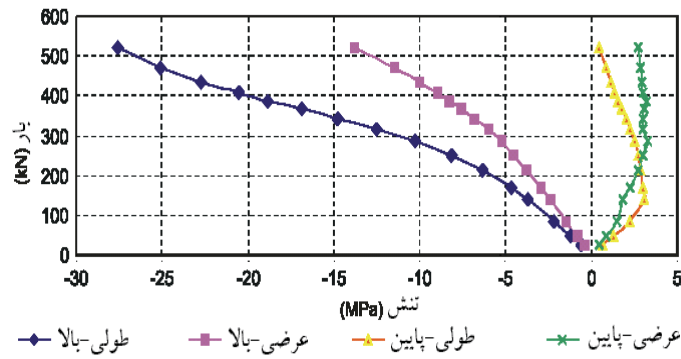
۳. بررسی صحت برنامه

بررسی توانایی برنامه NONLACS2 در پیش‌بینی رفتار مواد در حالت الاستیک با مقایسه نتایج تحلیل دستی یک تیر با نتایج رایانه‌ای و در حالت غیرکشان به کمک مقایسه نتایج تحلیلی و پاسخهای اندازه‌گیری شده دو آزمایش انجام شد. در هر حالت، اشکال مختلفی از خروجی‌ها اعم از تغییرشکل، تنشها، کرنشها، مقاومت نهایی، مقاومت حد ترک‌خوردگی، الگوی ترک‌خوردگی و غیره استخراج و با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شد. اگر چه پراکندگی‌هایی مشاهده شد، اما در حالت کلی انطباق خوبی بین مدل‌های تحلیلی و تستهای آزمایشگاهی برقرار بود.

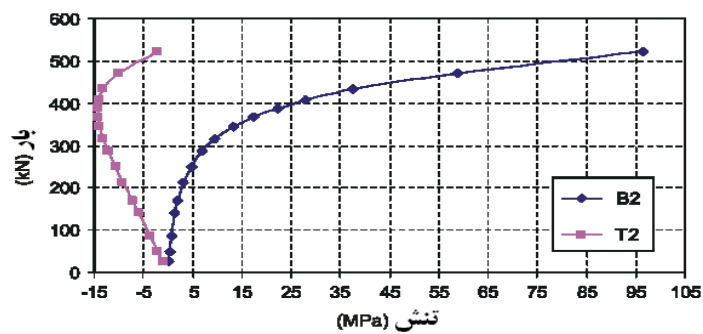
۳-۱ دال دو طرفه با تکیه‌گاههای ساده [گرادی (Graddy) و همکاران ۱۹۹۵]

یک دال دو طرفه با تکیه‌گاههای ساده که تحت اثر بارهای ثقلی

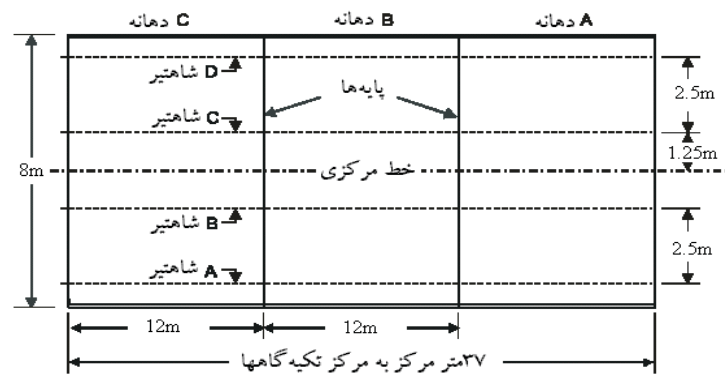
بررسی رفتار غیر خطی عرشه پلهای بتن آرمه به کمک روش ...



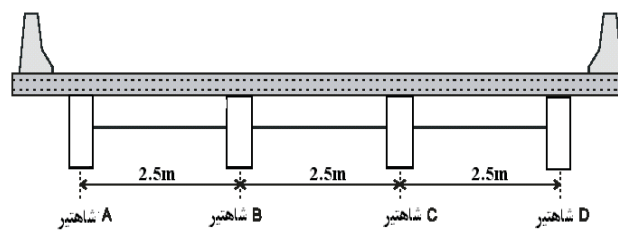
شکل ۱. تنشهای تحلیلی برای سطوح فوقانی و تحتانی بتن



شکل ۲. نتایج تحلیلی برای تنشهای فولاد



شکل ۳. نمایی از پلان پل



شکل ۴. سطح مقطع پل

۴. مدل اجزای محدود پل واقعی

۴-۱ توصیف پل

طبق آیین نامه بارگذاری پلها (نشریه شماره ۱۳۹ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور) [۲] به پل وارد می‌شود. وزن کلی کامیون ۴۰۰ کیلو نیوتن در نظر گرفته شد و بارها به گونه‌ای توزیع شدند که محور جلوی کامیون ۲۰ درصد کل بار را تحمل کند و بقیه وزن توسط دو محور انتهایی تحمل شود.

۴-۴ نتایج تحلیل غیرخطی

۴-۴-۱ تحلیل تنش و کرنش در تیرها

تنشهای قائم و افقی در شاه‌تیرها و عرشه پل که در طول نوار عرضی، در وسط دهانه و در $1/4$ طول دهانه ارایه شده، رفتار کلی مدل پل به ویژه توزیع تنشهای فشاری و کششی در عرشه را نمایش می‌دهند. همان گونه که انتظار می‌رفت ناحیه‌ای از پل که در زیر محورهای انتهایی کامیون قرار داشت، بیشترین تغییر شکل را تحمل کرد. با توجه به شکل ۴، این ناحیه تقریباً به فاصله $1/4$ طول دهانه از تکیه‌گاه A و بر روی شاه تیر C اتفاق افتاد و نوار عرضی نیز در این فاصله انتخاب شد.

شکلهای ۵ و ۶ به ترتیب توزیع کرنش کششی و فشاری را در طول نوار عرضی نشان می‌دهند. همان گونه که از شکل مشخص است، بخشی از شاه تیر C که دقیقاً در زیر محور انتهایی کامیون قرار دارد، دارای بیشترین کرنش کششی است. سطح کرنش سپس کاهش یافته تا در محل تکیه‌گاه (پایه‌های پل) فشاری شده و سپس در دهانه‌های B, C قابل چشم پوشی است. این مشاهده‌ها، پاسخ مورد انتظار شاه تیر را در نزدیکی بار تأیید می‌کنند.

۴-۴-۲ اثر غشایی فشار^۱ (اثر قوسی)

وجود اثر غشایی فشار از نیمه اول قرن بیستم شناخته شد، اما تا قبل از سال ۱۹۵۵ که اوکلتون (Ockleston) [۳] مزایای این اثر را با آزمایش بر روی دالهای داخلی یک ساختمان مشخص کرد، مورد استفاده قرار نگرفت.

اوکلتون در آزمایش‌های خود متوجه شد که بارهای نهایی دالها به طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر از بار طراحی است که در کارهای بعدی خود این افزایش را به عنوان اثر قوسی (یا اثر غشایی فشار) معرفی کرد. شکل ۷، ایجاد اثر غشایی فشار

سازه انتخاب شده برای تحلیل غیرخطی یک پل سه دهانه پیوسته است. هر دهانه دارای ۱۲ متر طول و ۸ متر عرض است. عرشه بتن‌آرمه به کمک ۴ شاه تیر با فواصل $2/5$ متر نگه داشته می‌شود. برای راحتی کار، تیرها از A تا D نامگذاری شدند. شکل ۳ نمایی از پلان عرشه را نمایش می‌دهد که در آن ابعاد و فاصله شاه تیرها آورده شده است. دهانه‌ها از راست به چپ با A الی C نامگذاری شده‌اند. عرشه پل با بتن درجا دارای فولاد طولی و عرضی در قسمت فوقانی و تحتانی است.

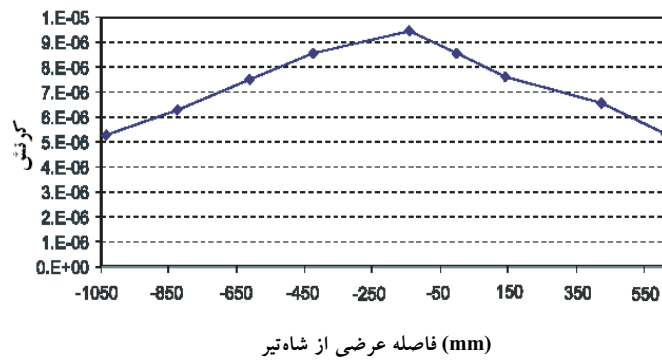
از آنجا که بتن‌ریزی شاه تیرها و دال پل به طور همزمان انجام می‌شود. بنابراین شاه‌تیرهای مزبور تحت اثر خمش به صورت مقطع T شکل عمل می‌کنند. شکل ۴، سطح مقطع پل شامل شاه تیرها، دیافراگم‌ها و جان پناه‌ها را نشان می‌دهد. شاه تیرها به ارتفاع ۸۰۰ میلی‌متر و عرض ۵۰۰ میلی‌متر می‌باشند. دیافراگم‌ها درگیرنده مقاطع با ابعاد 350×350 میلی‌مترند که در دهانه بین شاه تیرها متصل شده‌اند و دیافراگم‌ها در وسط دهانه و در نزدیکی هر تکیه‌گاه قرار گرفته‌اند. جان‌پناه‌ها در هر طرف مسیر واقع شده و از بتن درجا ساخته شده‌اند.

۴-۲ مشخصات مدل

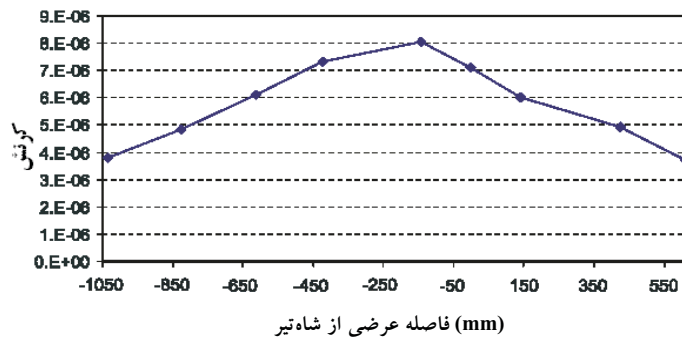
برای ساده کردن مدل و راحتی کار، فرضیاتی پذیرفته شدند. از شیب $1/4$ درصدی عرشه پل چشم پوشی شد و موازی صفحه X-Y در نظر گرفته شد. ضخامت متوسط عرشه برابر ۲۵۰ میلی‌متر فرض شد و محل فولاد در طول عرشه ثابت در نظر گرفته شد. مدل شامل ۵۲۱۱ المان بود که از المانهای ایزوپارامتریک ۴ نقطه‌ای نوع RQUAD4 برای مدل کردن اجزا استفاده شد. هندسه عرشه به گونه‌ای بود که اندازه‌های المان در راستای عرضی تقریباً ۲۹۰ میلی‌متر و در راستای طولی تقریباً ۲۵۰ میلی‌متر بودند. بعد عرضی به منظور اطمینان از این که گره‌ها در مش‌بندی عرشه در راستای گره‌های شاه‌تیر قرار گیرند، متغیر بود. با طول ۳۷ متر و عرض کل ۸ متر، مشهای عرشه شامل ۲۸ ردیف و ۱۴۴ آلمان بودند.

۴-۳ بارگذاری

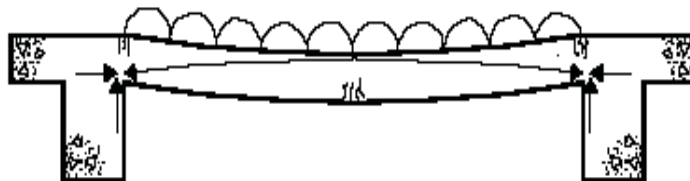
بارگذاری شامل بارهای فشاری وارد به المانهای عرشه بود. مقادیر بارها، منطبق بر باری بود که توسط یک کامیون چند محور



شکل ۵. توزیع کرنش فشاری در طول نوار عرضی شکل



۶. توزیع کرنش کششی در طول نوار عرضی شکل



شکل ۷. نحوه ایجاد اثر غشایی فشار

کننده و حساس است. از آنجا که در شرایط واقعی ممکن است یک پل تحت اثر شرایط مختلف انتهایی قرار گیرد که بستگی به نحوه ساخت پل و شرایط اطراف آن دارد، بنابراین در این بخش از مقاله، با مدل کردن شرایط مختلف انتهایی، تأثیر اثر غشایی فشار بر روی رفتار عرشه پلهای مورد بررسی قرار می‌گیرد. به این منظور برای تحلیل تیرها در شرایط مختلف انتهایی گزینه‌های زیر مورد بررسی قرار گرفتند. (۱) تیر دو سر گیردار، (۲) تیر دو انتها آزاد، (۳) تیر دو سر مفصل با قرارگیری تکیه‌گاه در $\frac{1}{4}$ ارتفاع، (۴) تیر دو سر مفصل با قرارگیری تکیه‌گاه در $\frac{1}{2}$ ارتفاع، (۵) تیر دو سر مفصل با قرارگیری تکیه‌گاه در $\frac{1}{4}$ ارتفاع. نتایج حاصل از تحلیل تیر برای حالات مختلف شرایط تکیه‌گاهی به قرار زیرند:

را در یک سطح مقطع تیر از عرشه پل نشان می‌دهد. هنگامی که یک دال به طور عمودی تغییر شکل می‌دهد، تغییر مکان افقی انتهای دال توسط سختی تیرها و پانلهای اطراف محدود و مقید می‌شود. این عامل سبب تولید نیروی فشاری در دال شده که به تبع آن سختی و مقاومت افزایش می‌یابد. در حال حاضر، با توجه به آن که این اثر تقریباً شناخته شده است، اما بیشتر آیین‌نامه‌ها اثرات مفید آن را در معیارهای طراحی در نظر نگرفته یا این که به صورت بسیار تجربی از آن استفاده می‌کنند.

یکی از دلایلی که که رفتار غشایی در کارها در نظر گرفته نمی‌شود، نداشتن اطلاعات کافی در خصوص سختی عرشه پل است. این سختی پیرامونی که باعث مقید کردن عرشه پل به صورت افقی می‌شود، در ایجاد اثر غشایی فشار، تعیین

۶) سختی تیرهای T شکل تأثیر فراوانی در مد خرابی این تیرها و نتیجتاً در سازه پل دارد.

۶. مراجع

1. Graddy, J. C., Burns, N. H., and Klingner, R. E. (1995) "Factors affecting the design thickness of bridge slabs", Report No. FHWA/TX-95+1305-3F), Center for Transportation Research, University of Texas at Austin.

۲. آیین نامه بارگذاری پلها، تجدید نظر اول، نشریه شماره ۱۳۹، معاونت امور فنی دفتر امور فنی و تدوین معیارها، سازمان برنامه و بودجه، ۱۳۷۹.

3. Ockleston, A. J. (1958) "Arching action in reinforced concrete slabs", The Structural Engineer, 36, pp. 197-201.

4. Kheyroddin, A. (1996) "Nonlinear finite element analysis of flexure-dominant reinforced concrete structures", Ph.D. Thesis, Department of Civil Engineering and Applied Mechanics, McGill University, Montreal, Canada, 290p.

5. Nofal, M.E. (1988) "Inelastic load distribution of composite concrete- steel slab on girder bridge", M.Eng. Thesis, Department of Civil Engineering., Carleton University, Canada.

6. Shayanfar, M. A., Kheyroddin, A. and Mirza, M.S. (1997) "Element size effects in nonlinear analysis of R. C. members", Computers & Structures, Vol. 62, No.2, pp. 339-352.

7. Bazant, Z. P. and Oh, B.H. (1983) "Crack band theory for fracture of concrete", Materials and Structures, V. 16, No. 93, pp. 155-177.

8. Wallace, J.W. (1995) "Seismic design of RC structural walls", ASCE Journal of Structural Engineering", Vol.121, No.1, January, pp. 88-101.

9. Mabsout, M. (1997) "Finite element Analysis of steel girder highway bridges", Journal of Bridge Engineering, 2(3): pp.83-87.

پانویس ها

1. Compressive membrane action

۱) نوع شرایط تکیه گاهی تأثیر مهمی بر روی رفتار بار- تغییر شکل دال دارد.

۲) ظرفیت باربری یک دال با شرایط تکیه گاهی کاملاً گیردار تقریباً ۵ برابر دال با تکیه گاههای ساده است.

۳) رفتار دال با شرایط انتهایی مفصلی شدیداً وابسته به ارتفاعی است که تکیه گاه افقی وارد می شود. در صورتی که تکیه گاه افقی نزدیک محور خنثی دال باشد ($\frac{1}{4}$ ارتفاع)، رفتار دال نزدیک به تکیه گاه ساده است. در صورتی که تکیه گاه به سطح پایین نزدیک تر شود، رفتار دال، به دال دو سر گیردار نزدیک تر می شود.

۵. نتیجه گیری

با اطلاعاتی که از طریق تحقیق ارائه شده در این مقاله به دست آمد، شناخت و فهم کامل تری در مورد رفتار تیرهای T شکل در پلها حاصل شد. این یافته ها سبب ارزیابی واقعی تر مقاومت خمشی این گونه پلها می شود. تیرهای T شکل بتن آرمه تحت اثر بارهای وارده رفتاری را از خود بروز می دهند که در آیین نامه ها در نظر گرفته نشده است، مانند افزایش مقاومت و شکل پذیری. مدل های تحلیلی که در این مقاله آورده شده قادرند ابعاد مختلف پاسخ غیرخطی تیرهای T شکل بتن آرمه را نمایش دهند که مهم ترین این نتایج به شرح زیرند:

۱) به کمک روش غیرخطی المان محدود می توان تغییرشکلها، کرنشها و تنشها را در حالی که پیچیدگی های غیرضروری به حداقل خود می رسد، پیش بینی کرد.

۲) نوع شرایط تکیه گاهی تأثیر مهمی بر روی رفتار بار- تغییر شکل دال دارد.

۳) اثر غشایی فشار به دلیل قیده های مسطحی که مانع انبساط و تغییر مکان افقی عرشه پل می شود، به وجود آمده که این ممانعت از تغییر مکان افقی عرشه، سبب ایجاد نیروی فشاری در دال شده که به تبع آن سختی و مقاومت خمشی سازه افزایش می یابد.

۴) ظرفیت باربری یک دال با شرایط تکیه گاهی کاملاً گیردار تقریباً ۵ برابر دال با تکیه گاه های ساده است.

۵) تیرهای T شکل با بال تحت فشار مقاومت و شکل پذیری بیشتری نسبت به تیرهای T شکل با بال کششی و تیرهای مستطیلی دارند.

Nonlinear Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Bridges

A. Kheyroddin, Associate Professor, Department of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran.

A. Mortezaei, Ph.D. Candidate, Department of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran.

E-mai: kheyroddin@semnan.ac.ir

ABSTRACT

Many bridges built in the past 50 years are reinforced concrete. Because of their normal deterioration, the introduction of new safety standards, and the increasing traffic volume and loads, a high percentage of the older bridges require rehabilitation or expansion. Often, the choice between constructing a new bridge and rehabilitating the existing one must be made. An essential factor in making a sound decision is knowledge of the strength of the bridge in its existing form. Unfortunately, the inelastic response, load distribution characteristics, and ultimate strength of bridges can not be realistically assessed by use of simplified procedures currently used for design and evaluation. Prediction of this behavior ultimately requires extensive experimental tests or advanced analytical techniques. In many cases, analytical methods are more economical and expedient than laboratory or field testing, and a number of researchers have extolled the potential of using finite element analysis to predict bridge response. The primary objective of this study is to establish and demonstrate a convenient, reliable, and accurate methodology for analyzing reinforced concrete structures with particular emphasis on reinforced concrete bridge and develop a capability for predicting stress and strain distribution through the thickness of bridge decks. A secondary objective of the analytical evaluation include the development of a finite element model that could correctly represent global bridge behavior and accurately predict strains, stresses and displacements in the deck. A specific objective is to investigate the enhancing effects of compressive membrane action on the ultimate flexural strength of bridges.

A nonlinear finite element program, NONLACS2, developed by Kheyroddin, was selected as the basic platform for this study. The next step was to demonstrate how reinforced concrete is modeled within NONLACS2 and to validate the results predicted by the NONLACS2 program by comparing them with relevant experimental data and accepted design calculations.

The finite element model of a reinforced concrete beam, simply supported, and subjected to a uniformly distributed load, was initially investigated. Further verification of the validity of finite element models of reinforced concrete components were demonstrated by comparing the predicted response of the model with experimental results obtained from laboratory tests of a two-way reinforced, simply supported, concrete slab. Tests on existing slab and beam bridges around the world have shown that many of these structures possess a greater load capacity than current design codes predict they should have. Many researchers attribute the additional capacity to a phenomenon known as compressive membrane action. Compressive membrane action occurs as a result of in plane restraints that restrict the horizontal expansion of the bridge deck as it deflects vertically. For this purpose, finite element modeling of slabs with idealized end restraints has been carried out.

With the information acquired through the research proposed in this paper, a more complete understanding of the nonlinear behavior of RC bridges was obtained. This would allow a more realistic assessment of the flexural strength of these bridge types to be made. Some important points can be noted. The type of end restraint imposed on a slab significantly affects its load-

deflection behavior. The ultimate load capacity of a slab with fully restrained ends is almost five times greater than that of a simply supported slab. The stiffness of the horizontally restrained slabs is also significantly greater. The behavior of slabs with pinned ends depends greatly on the height at which the horizontal support acts. T-shape beam have a high lateral strength rather than rectangular beam and cause decreasing of deflection of deck. The stiffness of the T-shaped beams was largely responsible for the mode of failure.

Keywords: Non linear finite element analysis, reinforced concrete bridges, concrete slabs