



## پل پایدار – شیوه های ساخت



**Educational and Engineering institute 808**  
Specialized training in Civil and Architecture

تلفن: ۰۲۱۸۸۲۷۲۶۹۴

www.civil808.com

زمستان  
۹۴

مهندسان شهری با مشکل متعادل سازی خدمات دهی پل های جاده ای روبرو هستند. امروزه نیاز های بخش حمل و نقل بسیار بیشتر از زیر ساخت های فعلی در این بخش است. این موضوع به طور ویژه ای در مواردی که نیاز به تعمیر و جایگزینی پل ها است، صدق می کند. بسیاری از پل های موجود در کشور و ایالت ها در گروه پل های دهانه کوتاه دسته بندی می شوند، که طول آن ها کمتر از ۱۴۰ فوت است. در متعادل سازی پل ها دو نکته قابل تامل وجود دارد: یکی امنیت افرادی است که از پل عبور می کنند و دیگری بودجه بسیار اندکی است که باعث می شود نگه داری و تعمیر پل در اولویت قرار بگیرد. در شرایطی که در خواست ها برای استفاده از محصولات پایدار و اجرای دستورالعمل های دقیق زیست محیطی رو به افزایش است و همه این موارد همراه با بودجه محدود فدرال است، سبب می شود تا تصمیم گیری مهندسان شهری با دشواری همراه باشد. از آنجایی که ایمنی همیشه در اولویت قرار داد، این کار مستلزم تفکر خلاق و راه حل های نو آورانه ای است تا بتوانند افزایش تقاضای عمومی را برای داشتن جاده هایی کار آمد، پاسخ گو باشند.

یک تیم از مهندسان شهری شهرستان ماکسینگام Muskingum در زنسویل، اوهایو در پی آن بودند که به یک راه حل پایدار و موثر برای ساخت و ساز مقرون به صرفه برای پل هایی با دهانه های کوتاه دست یابند. این مهندسان قطعات فولادی را برای بسیاری از پل هایی با دهانه کوتاه و هر جایی که امکان پذیر است، انتخاب کردند که در واقع از تیر های فولادی پل هایی استفاده می شود که دیگر خدمات دهی نمی کنند. پل دره سبز (Green Valley Bridge) در نزدیکی زنسویل، اوهایو یک مثال خوب از اجرای این طرح است.

پل اصلی دره سبز در سال ۱۹۵۱ ساخته شد که طول دهانه های خرپایی آن ۵۳ فوت بود که عرشه آن از جنس بتن مسلح بود. این پل با پل دیگری جایگزین شد به دلیل اینکه پل قبلی در وضعیت ضعیفی قرار داشت، یعنی ۱۰ تن محدودیت باربری داشت و نیاز بود سازه پل به گونه ای باشد که جرثقیل برای عملیات ساخت و ساز و ایجاد خط جدید انتقال برق در پایین دست پل بتواند عبور و مرور کند.



مهندسان شهری (MCEO) تخمین زدند که ۵۱۰۰۰ دلار در هزینه ها به واسطه استفاده از تیرهای فولادی که دوباره مورد استفاده قرار گرفتند، صرفه جویی شد.

پل جدید با استفاده مجدد از تیرهای  $141 \times 33$  w پل قبلی ساخته شد. تیرها از طول برش خوردند و اتصالات قبلی از آن ها جدا شد. پس از آن قاب های پیچ شده، متقاطع و مورب که از اعضای زاویه ای ساخته شده باشند و به صفحات صلب متصل بودند به تیرها جوش داده شدند.

این عملیات در سال ۲۰۱۴ پایان یافت، پل جدید دره سبز در حال حاضر ۵۲ فوت طول و ۲۰ فوت عرض دارد که از پنج ردیف تیر تشکیل شده است. چهار فوت قسمت میانی با عرشه ای از جنس بتن مسلح کامپوزیت و به ضخامت ۹ اینچ پوشانده شده است. این عرشه به صورت اورب و با زاویه ۱۰ درجه روی قسمت بتنی که مقاوم سازی شده، قرار گرفته است. این پنجمین پلی است که به واسطه تیرهای فولادی پل قبلی جایگزین شده است. مهندسان شهری تخمین زدند که ۵۱۰۰۰ دلار در هزینه های ساخت و ساز به واسطه استفاده دوباره از تیرها به جای استفاده از تیرهای جدید، صرفه جویی شد.



پل دره سبز پنجمین پلی است که پل جدید با استفاده از تیر های پل قبلی در شهرستان ماکسینگام جایگزین شد.

### الزامات استفاده مجدد از تیر های فولادی

تیم MCEO استفاده مجدد از تیر های فولادی را زمانی که طول دهانه ها، اندازه تیر ها و دهانه های هیدرولیکی مناسب باشد، برمی گزینند. چالش اصلی در استفاده مجدد از تیر ها، پیدا کردن تیر هایی است که به اندازه کافی بلند باشند و عمق کم و کافی برای تحمل بار مورد نیاز داشته باشند. برآورد تیر ها ممکن است چندین بار تکرار شود تا استفاده صحیحی از آن ها بشود. عوامل موثر در این برآورد عبارت اند از: دهانه، فاصله ها، ظرفیت باربری، فاصله عمودی مورد نیاز، دهانه هایی که آب عبور می کند، وزن تیر ها و مقاومت فولاد.

اولین گام در فرآیند انتخاب تعیین این موضوع است که آیا تیر بار مورد نظر را می تواند تحمل کند؟ عمر و مقاومت تیری که قرار است دوباره مورد استفاده قرار بگیرد، باید هنگام بر آورد در نظر گرفته شود. پس از آن فاکتور های دیگری که مورد نیاز است نیز باید مشخص شود، مانند اینکه اگر دهانه پل بالای سطح جاده باشد آیا امکان حمل و نقل از زیر پل هست؟ اگر پل روی سطح آب است، جریان ناشی از طوفان ها می تواند بدون سیلابی کردن مسیر از پل عبور کند؟

### صرفه جویی در هزینه ها در عین پایدار بودن

تیر های پل دره سبز از موفق ترین پروژه های تیم MCEO انتخاب شدند که در سال ۲۰۰۵ دوباره در طول ۳۲۶ فوتی و سه ردیف تیر، پنج دهانه مورد استفاده قرار گرفتند. در این پل از سه تیر با ابعاد  $w33*130$  و مقاومت  $33 \text{ ksi}$  و طول ۴۸ فوت و دوازده تیر با ابعاد  $w33*141$  و مقاومت  $33 \text{ ksi}$  و طول ۶۰ فوت استفاده شد. علاوه بر پل دره سبز، این تیر ها در جاده Rural Dale با ابعاد ۵۵ فوت طول و ۲۴ فوت عرض در سال ۲۰۰۵ و پل North Branch با ابعاد ۳۸ فوت طول و ۱۶ فوت عرض در سال ۲۰۱۵ نیز استفاده شدند. در واقع از مجموعه این تیر ها در ساخت سه پل دیگر استفاده شد.

استفاده مجدد از تیر ها می تواند سبب صرفه جویی در ۸۰ درصد هزینه خرید تیر های جدید از طریق افزایش مدت زمان استفاده از تیر های قبلی، شود. زمانی که عمر مفید استفاده از تیرها به پایان برسد، باز هم می توان از آن ها برای تولید قطعات فولادی دیگر بار ها استفاده کرد.

تیم MCEO، ۵۱۰۰۰ دلار در پل دره سبز و ۴۰۰۰۰ دلار در پل North Branch صرفه جویی کردند. در غیر این صورت این تیم به دلیل کمبود منابع مالی در دسترس نمی توانست جایگزینی برای پل دوم داشته باشد.

Repurposed bridges in Muskingum County, Ohio

	Location	Span	Beam Size	Source	Year Replaced	Cost Savings
1	North Branch Road	38 feet	4-W33x130	Pleasant Valley Road	2015	\$40,000
2	Green Valley Road	51 feet	5-W33x141	Pleasant Valley Road	2014	\$51,000
3	Rural Dale Road	55 feet	6-W33x141	Pleasant Valley Road	2005	\$55,000
4	Richey Road	23 feet	6-W12x79	Stock	2012	\$20,000
5	Clay Pike Road	53 feet	4-W30-116 2-W27x102	Stock	2007	\$52,000
6	Goosecreek Road	16 feet	5-W14x48	Scrap \$0.20/lb	2014	\$5,000
7	Bush Hill Road	28 feet	5-W14x48	Scrap \$0.20/lb	2014	\$7,000
TOTAL SAVINGS						\$230,000

### در دسترس بودن تیرهای فولادی

تیرهای فولادی بسیاری را می توان در ایالت ها و فدرال ها پیدا کرد. تیم MCEO ترجیح می دهد که این تیرها قبل از این که به طول های کوچکتری برش داده شوند، جمع آوری شوند و در مواردی که نیاز است تیر در مقطعی عمق داشته باشد، استفاده شوند. بیشتر این قبیل تیرها را می توان به قیمت آهن قراضه خریداری کرد و در جای دیگری به کار برد. این روش برای هر دولت که برای بازیافت مواد برنامه ریزی کرده، ایده آل است. در غیر این صورت اگر تیرهای پل قبلی از چرخه مصرف خارج شوند، دولت مجبور است هزینه ای بالغ بر ۵۰۰۰ دلار یعنی معادل ارزش مواد قابل بازیافت بپردازد. اوهایو در حال توسعه برنامه ریزی بازیافت مواد برای مقابله با این موضوع است.

تیم MCEO، تیرهای موجود و اضافه را خریداری می کند تا هزینه ها را کاهش دهد و تیرها را به چرخه مصرف بازگرداند. ارتباط قوی در طی سال ها با صاحبان کسب و کار محلی سبب شده تا تیم MCEO تیرهایی را که اضافه تشخیص داده شده اند و یا قرار است از چرخه مصرف خارج شوند، خریداری کند.

علاوه بر این تیم MCEO در راستای برنامه استفاده مجدد از قطعات، سعی دارد شکل و جزئیات کلی پل را حفظ کند. این موارد عبارت اند از: طول، سن تقریبی، اندازه، تعداد و شرایط تیرهایی است که در پل وجود دارند. پس از آن این تیم به ارزیابی هیدرولیکی محل و موقعیت پل جایگزین به منظور تعیین بیشترین عمق مورد نیاز تیرهایی که قرار است دوباره مورد استفاده قرار بگیرند، می پردازد. زمانی که طول دهانه و فاصله آزاد مورد نیاز زیر پل مشخص شد، تیرها می توانند دوباره برای جایگزینی پلی در آینده مورد استفاده قرار بگیرند.



دست اندر کاران ساخت و ساز پل معمولاً، پل های فلزی با دهانه کوتاه را با تجهیزات در دسترس و نیرو های محلی می سازند که سبب صرفه جویی قابل توجهی در هزینه های پروژه می شود.

### فولاد = بهره وری زمان و هزینه در طراحی و ساخت

حدود ۶۰ درصد از ۴۰۹ عدد پل شهرستان ماکسینگام از جنس فولاد ساخته شده اند. در این منطقه ۴۲ پل خرابایی فولادی ( ساخته شده در سال ۱۹۱۳)، سه پل با شاه تیر های فولادی، ۱۸۶ پل با تیر های فولادی و ۱۹ سازه فولادی که در زیر خاک قرار می گیرند (لوله ها) ، وجود دارد.

علاوه بر مزایای بازیافت/ استفاده مجدد، تیم MCEO استفاده از فولاد را به دلایل زیر و اینکه موجب صرفه جویی در زمان و هزینه می شود، پیشنهاد می کند:

- فولاد در دسترس ترین مصالح ساخت و ساز است.
- کاربرد، تعمیر و فرآیند ساخت و ساز فولاد آسان است.
- فولاد از مصالح مناسب برای زمانی است که در ساخت و ساز از نیرو های محلی استفاده می شود. بسیاری از پل های شهرستان ماکسینگام بیش از ۵۰ سال از عمر آن ها می گذرد. تعدادی از این پل ها توسط نیرو های محلی ساخته شده که تیر های فولادی را تنها با تجهیزات و امکانات همان شهر نصب می کردند (بدون این که جرثقیل های بزرگ مورد نیاز باشد)، که سبب صرفه جویی قابل توجهی در هزینه ها شد. همچنین تعمیر این پل ها از طریق پیچ و جوش انجام می شود. بسیاری از این سازه های بتنی که این تیم ساخته، غیر قابل تعمیر هستند و یا هزینه های تعمیر آن ها هنگامی که عامل تقویتی آن ها از بین رفته است یا ورقه ورقه شده است، بالا است.
- به دلیل بازدهی و کارایی خوب فولاد در ساخت و ساز و عملیات نصب، زمان کمتری نیاز است تا جاده ها برای ساخت و ساز مسدود شوند.



فولادی که دوباره در پروژه های دیگر مورد استفاده قرار می گیرد، مقاومت بالا و کمترین اثر را روی محیط زیست دارد.

### فرصت های آموزشی و ابزار طراحی در دسترس و بدون هزینه

مهندسان شهری به خواسته های چالش برانگیز و راه حل های خلاقانه عادت دارند. استفاده مجدد از تیرهای فولادی در پروژه ای دیگر یک روش کارا و موثر است که تیم MCEO از آن بهره می برد.

تیم MCEO از چندین ابزار آموزشی مفید برای ساخت پل هایی با دهانه های کوتاه که هزینه ای در بر ندارند، بهره می گیرد. این ابزار شامل کارگاه های آموزشی مناسب برای مهندسان شهری، کارکنان بخش حمل و نقل، شرکت های طراحی و سرپرستان و ناظران جاده ای است. این کارگاه ها که توسط مهندسان پل سازی برگزار می شود، نصف روز و گاهی یک روز کامل به طرح موضوعاتی از قبیل ابزار طراحی، مطالعات موردی، ساخت و ساز سریع پل، روش ساخت قابل اجرا و مقرون به صرفه پل و معرفی نوآوری اخیر در رابطه با پوشش های محافظ می پردازد. موضوعات کارگاه ها را می توان بر اساس نیاز شرکت های محلی تنظیم کرد. برای اطلاعات بیشتر به این سایت مراجعه کنید:

[www.shortspansteelbridge.org](http://www.shortspansteelbridge.org)

یک ابزار طراحی تحت وب که توسط اتحادیه پل های فلزی دهانه کوتاه (SSSBA) توسعه داده شده طرح های معمولی برای این گونه پل ها ارائه می کند. eSPAN140 راه حل هایی برای طراحی اولیه در پروژه های تکی ارائه می کند. پس از این که کاربر حداقل سه پارامتر پروژه را در برنامه وارد کرد، چند ثانیه بعد یک سند در قالب PDF به کاربر ارائه می شود که راه حلی را معرفی می کند. از سال ۲۰۱۲، حدود ۲۰۰۰ طرح اولیه به این روش تهیه شده است. برای اطلاعات بیشتر به این سایت مراجعه کنید: [www.espan140.com](http://www.espan140.com)

عوامل درگیر هنگام استفاده از بودجه فدرال برای پروژه های پل سازی در محدوده مورد نظر چیست؟

مهندسان شهری بودجه کافی برای نگه داری و حفظ زیر ساخت ها به نحو مناسبی در دسترس ندارند. ایالت های آمریکا معمولاً در معرض انواع خطر و تهدید (مانند خفاش ها) و محدودیت قطع درختان از ماه آپریل تا سپتامبر قرار دارند که موجب می شود شروع پروژه ها با تاخیر روبرو شود. راه های آبی که بیش از ۱۰ مایل مربع از منطقه زهکشی قرار دارند، ممکن است زیستگاه صدف های دریایی باشند، که نیاز است حداقل بررسی ها در مورد آن ها انجام شود. در صورتی که این منطقه زیستگاه صدف دریایی باشد باید به مدت یک سال زیستگاه آن ها را تغییر داد و سلامتی آن ها را پس از این مدت ارزیابی کرد. سوف ماهیان کوچک (که به عنوان ماهیان جهنده نیز شناخته می شوند - نوعی ماهی گوشت خوار) از اوایل بهار تخم ریزی می کنند. همین موضوع سبب می شود تا فعالیت های ساخت و ساز درون آب تا اوایل ماه جولای به تاخیر بیفتد. آشیانه عقاب گر (نوعی عقاب گر که در شمال آمریکا زندگی می کند) نیز ممکن است مانع عملیات در اطراف آن شود و بر محدودیت های پروژه نیز تاثیر گذار خواهد بود.

کار در مسیر آبی آبشار ها می تواند با نظارت مهندسان ارتش آمریکا صورت بگیرد. بسته به اندازه، کیفیت و منظره مسیر آبی، ممکن است نیاز باشد مجوز هایی برای حفظ کیفیت آب و مصالحی که داخل آب قرار می گیرند، اخذ شود.

بسته به طول مسیر آبی که قرار است عملیات در آن صورت گیرد، ممکن است نیاز به اخذ مجوز های کلی و یا تکی/موردی باشد. اخذ مجوز های کلی بسیار ساده است و تنها نیاز به ارائه برنامه و طرح حجم مصالحی است که قرار است از برداشته و یا قرار داده شود. اخذ مجوز های موردی (برای موارد خاص) ممکن است یک سال و یا بیشتر بسته به میزان تاثیر عملیات طول بکشد.

قانون آب پاک (The Clean Act) نیز ممکن است در مورد تخلیه جریان آب ناشی از ساخت و ساز اعمال شود. پروژه هایی با اندازه ای بیش از یک جریب نیاز به برنامه ها و مجوز هایی برای جلوگیری از نشت آب و رسوبات ناشی از ساخت و ساز دارند. اغلب پروژه های پل سازی در مناطق جلگه ای سیلابی قرار دارند و نیاز به هماهنگی و اخذ مجوز از موسسه مدیریت اضطراری فدرال (FEMA) برای مدیریت منطقه جلگه ای دارند. هدف از این کار جلوگیری از افزایش ارتفاع و سطح آب در طی ۱۰۰ سال در مناطق پایین دست و بالا دست پل است.

با اینکه حفظ بودجه فدرال برای بازسازی زیر ساخت های حیاتی منطقه مهم است، ولی گاهی سبب تاخیرات قابل توجهی در طراحی و ساخت و ساز می شود.