

به نام آنکه جان را فکرت آموخت

# پل سازی به روش پیشرانی

## (درآمدی بر طرح و اجرا)

تالیف:

سهیل آل رسول



فردوسی

سرشناسه	: آل رسول، سهیل، ۱۳۶۰
عنوان و نام پدیدآور	: پل سازی به روش پیشرانی (درآمدی بر طرح و اجرا) / تالیف سهیل آل رسول.
مشخصات نشر	: تهران: فدک ایستاتیس، ۱۳۸۹
مشخصات ظاهری	: ۱۶۸ص: مصور، جدول
شابک	: ۱۱۰۰۰۰ ریال: ۴-۲۳-۰۱۶۰-۶۰۰-۹۷۸
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا
یادداشت	: کتابنامه: ص. [۱۴۶].
موضوع	: پل سازی
موضوع	: پل سازی -- برنامه های کامپیوتری
رده بندی کنگره	: ۱۳۸۹ پ ۸ / ۱۷ / ۳۳۵ TG
رده بندی دیویی:	: ۶۲۴ / ۲۹
شماره کتابشناسی ملی	: ۳۲۴۹۷۴۶



## پل سازی به روش پیشرانی (درآمدی بر طرح و اجرا)

### سهیل آل رسول

ویراستار علمی	: محمدرضا صافدل
مدیر تولید	: مجیدرضا زرویی
صفحه آرایی	: واحد تولید انتشارات فدک ایستاتیس
نوبت چاپ	: اول - بهمن ۱۳۸۹
شمارگان	: ۱۰۰۰
لیتوگرافی	: مهران نگار
چاپ	: رامین
صحافی	: گلستان
قیمت	: ۱۱۰۰۰۰ ریال
شابک	: ۴-۲۳-۰۱۶۰-۶۰۰-۹۷۸

سایت مولف:

[www.rssconsult.ir](http://www.rssconsult.ir) - [www.payamomran.blogfa.com](http://www.payamomran.blogfa.com)

دفتر انتشارات: تهران - خیابان انقلاب - خیابان اردیبهشت - بین لیاقی نژاد و جمهوری - ساختمان ۱۰ (۱۲۶ قدیم)  
تلفن: ۶۶۴۸۲۲۲۱ - ۶۶۴۸۱۰۹۶ - ۶۶۴۶۵۸۳۱

[www.fadakbook.ir](http://www.fadakbook.ir) - Email: [fadakbook@yahoo.com](mailto:fadakbook@yahoo.com)

کلیه حقوق و حق چاپ متن و عنوان کتاب که به ثبت رسیده است؛ مطابق با قانون حقوق مولفان و مصنفان مصوب ۱۳۴۸ محفوظ و متعلق به مولف می باشد. هرگونه برداشت، تکثیر، کپی برداری به هر شکل (چاپ، فتوکپی، انتشار الکترونیکی) بدون اجازه کتبی از مولف ممنوع بوده و متخلفین تحت پیگرد قانونی قرار خواهند گرفت.

معاونت حقوقی

انتشارات فدک ایستاتیس

## پیشگفتار

در مسیر توسعه‌ی هر کشور، زیرساخت‌ها بازیگران کلیدی هستند که تمایز چشم‌گیر نرخ رشد اقتصادی و اجتماعی میان کشورها مستقیماً با آنها رابطه دارد. در این میان شریان‌های حیاتی راه و راه‌آهن به‌همراه ابنیه سنگینی چون پل‌ها و تونل‌های طویل همواره در کانون توجه بوده‌اند. بنابراین روش‌های ساخت چنین سازه‌های سنگینی باید با توجه به ویژگی‌هایی چون سرعت، هزینه، کارایی و ایمنی انتخاب گردند.

گسترش روزافزون منابع اطلاعاتی، مراجع علمی و تحقیقاتی و نیز توانمندی محققان و مهندسان در کنار نیاز وافر دانشجویان، زمینه‌ی توسعه سریع دانش بشری را فراهم آورده است. در این میان تدوین و ارائه‌ی مستندات اجرایی و تجربه‌های عملی در قالب کتب و گزارش‌های مکتوب فنی نقش ویژه‌ای را در مرتبط ساختن آموزه‌های تئوریک و بازار کار ایفا می‌کند. در این کتاب نگارنده با استفاده از تجربیات عملی و تحقیقات مستمر، مراجع و آیین‌نامه‌های معتبر تلاش نموده است تا یکی از روش‌های نامتداول پل‌سازی در کشور را که به عنوان روشی معتبر و شناخته شده در دنیا مورد استفاده قرار می‌گیرد، به همراه جزئیات اجرایی و طراحی آن معرفی نماید شاید از این طریق گام کوچکی در زمینه تبادل گسترده تر و کاربردی تر اطلاعات و تجربیات در عرصه مهندسی پل را فراهم آورد.

بی‌گمان؛

تدوین این کتاب بدون حمایت های بی دریغ مدیران ارجمند **مهندسیین مشاور رهاب** آقایان مهندس **رضا طباطبایی ایرانی** و مهندس **جعفر گروهی** میسر نبود. همچنین در راستای گردآوری مراجع و ویراستاری علمی مطالب آقای مهندس **محمد رضا صافدل** و درخصوص راهبردهای تدوین و انتشار آقای **جواد سیار** اینجانب را بی وقفه حمایت و راهنمایی نمودند. این کتاب همچون هر اثر فنی و اجرایی دیگر مرهون راهنمایی ها و همکاری های صاحب نظران ارجمندی است که یادآوری نام برخی از این بزرگواران تنها به منزله ادای احترام به این نقش آفرینان عرصه عمران و آبادانی کشور و کلیه مدیران و متخصصانی است که در مراحل مختلف مرا راهنمایی نمودند.

آقایان مهندسان: فریدون ثقه الاسلامی ، کریم جنتی، ایرج آریان پور در پایان نگارنده امیدوار است اساتید ارجمند و مهندسان گرامی با ارائه پیشنهادات و انتقادات سازنده خود در خصوص این کتاب نگارنده را مورد لطف خویش قرار دهند.

**سهیل آل رسول**

۱۱ آذرماه ۱۳۸۹

## فهرست مطالب

### فصل اول ضرورت ساخت پل‌های پیش‌رانی

مقدمه ۲	۱.۱
معرفی روش ILM ۳	۲.۱

### فصل دوم سوابق و زمینه‌های پل‌ها به روش پیش‌رانی تدریجی

مبانی روش ۶	۱.۲
سوابق تاریخی ۸	۲.۲
تحلیل و مدل‌سازی ۹	۳.۲
طراحی پل ۱۱	۴.۲
مطالعات فرآیند ساخت و ساز ۱۳	۵.۲
کلیات در طرح و اجرا ۱۴	۶.۲
برخی از تجربیات و سوابق پیش‌رانی در ایران ۱۵	۷.۲

### فصل سوم معرفی نرم‌افزار Civil Midas

مقدمه ۲۰	۱.۳
قابلیت‌های Midas ۲۲	۲.۳
ملزومات ۲۶	۳.۳
مدلسازی روش پیش‌رانی با Midas ۲۶	۴.۳

### فصل چهارم مدل‌سازی و بارگذاری روش پیش‌رانی

کلیات ۳۰	۱.۴
فرضیات مقدماتی مدل‌سازی ۳۰	۲.۴
مصالص مصرفی و تنش‌های مجاز ۳۲	۳.۴

بارگذاری ۳۲	۴.۴
معرفی مقاطع عرشه ۳۵	۵.۴
مدل قطعه‌بندی عرشه و جزئیات تسلیح ۳۹	۶.۴
مقدمات و فرضیات تحلیل مدل ۴۴	۷.۴
بار دیافراگم‌ها و کنترل‌های نهایی ۴۶	۸.۴
نمونه‌ای از نتایج و خروجی تحلیل‌ها ۴۸	۹.۴

## فصل پنجم مراحل و شیوه‌ی اجرای پل به روش پیش‌رانی تدریجی

ساخت و تجهیز کارگاه ۵۰	۱.۵
پیاده کردن محور اصلی ۵۱	۲.۵
پیاده‌کردن محل شمع‌ها ۵۱	۳.۵
اجرای شمع‌ها ۵۲	۴.۵
اجرای سرشمع‌ها ۵۲	۵.۵
اجرای کوله سوی پیش‌رانی ۵۲	۶.۵
اجرای پایه‌ها ۵۳	۷.۵
مونتاز دماغه پیش رونده ۶۰	۸.۵
ساخت صندوقه بتنی ۶۶	۹.۵
عملیات هل دادن عرشه ۶۷	۱۰.۵
عملیات متوالی ساخت صندوقه‌ها و هل دادن ۷۰	۱۱.۵
ساخت و نصب تجهیزات ویژه‌ی پیش‌رانی ۷۱	۱۲.۵
قالب‌بندی و داربست ۷۱	۱۳.۵
عملیات بتنی ۷۱	۱۴.۵
تکیه‌گاه نئوپرن و درزهای انبساط ۷۲	۱۵.۵
روش ساخت و اجرای تابلیه ۸۶	۱۶.۵
نمونه‌ای از جزئیات جک‌های پیش‌رانی ۱۰۰	۱۷.۵

## فصل ششم برخی از توصیه‌های اجرایی

بتن ۱۱۶	۱.۶
پیش‌تنیدگی ۱۱۷	۲.۶
آرماتوربندی ۱۱۸	۳.۶
مراحل ساخت پل در یک نگاه ۱۱۸	۴.۶

نکات مربوط به نشیمن گاه‌های عرشه ۱۲۰	۵.۶
مشکلات و خرابی‌های معمول در مقاطع بتن پیش‌تنیده ۱۲۱	۶.۶
توصیه‌های مکمل کلی ۱۲۲	۷.۶

## فصل هفتم تجهیزات رانش و کنترل در اجرای پل‌های ILM [۵]

مقدمه ۱۲۶	۱.۷
پیش‌رانی پل‌های کوتاه ۱۲۷	۲.۷
سیستم‌های یدک‌کش ۱۲۷	۳.۷
پیش‌رانی اصطکاکی در پل‌های طویل ۱۳۴	۴.۷
زین‌های پیش‌رانی ۱۴۰	۵.۷

مراجع ۱۴۹

## فهرست اشکال

۱.۱ شکل	احداث پل به روش پیش‌رانی تدریجی (ILM) بر روی دره‌های عمیق و آبراهه ها ۲
۲.۱ شکل	پل مگالورما یونان ۳
۳.۱ شکل	اجرای پل به روش ILM در استرالیا ۴
۱.۲ شکل	دماغه و تکیه‌گاه پیش‌رانی پل واکفیلد پورت ۷
۲.۲ شکل	پیش‌رانی پل فولادی ۱۱
۳.۲ شکل	بتن‌ریزی دو مرحله‌ای صندوقه در فرآیند ساخت ۱۳
۴.۲ شکل	پل دسترسی سد آزاد اجرا با روش ILM ۱۶
۵.۲ شکل	اجرای پل صندوقه فولادی به روش ILM ۱۶
۶.۲ شکل	پل دره باسمنج واقع در قطعه ۹ راه‌آهن در دست احداث میانه - تبریز ۱۶
۱.۳ شکل	تکمیل مدل آنالیز پل معلق ۲۰
۲.۳ شکل	مدل‌سازی پل‌های چند عنصری ۲۱
۳.۳ شکل	جزئیات آنالیز محل اتصال انکور ۲۱
۴.۳ شکل	جزئیات آنالیز انشعاب تونل با تولید اتوماتیک مش و جهش خاک ۲۲
۵.۳ شکل	اندازه‌گیری شتاب موج به وسیله بخش‌های ساختمانی ۲۳
۶.۳ شکل	جزئیات آنالیز لوله عرضی ۲۴
۷.۳ شکل	جزئیات آنالیز اتصال کابل انکور ۲۴
۸.۳ شکل	پایه‌ی پل تایپ T ۲۵
۹.۳ شکل	نتایج آنالیز حرارت هیدراسیون ۲۵
۱۰.۳ شکل	مراحل اجرای تابلیه ۲۷
۱۱.۳ شکل	فرضیات تکیه‌گاهی حین اجرا ۲۸
۱.۴ شکل	مقطع عرضی پل ۳۱
۲.۴ شکل	دماغه ۳۱
۳.۴ شکل	بارگذاری مدل ۳۲
۴.۴ شکل	رطوبت نسبی ۳۴
۵.۴ شکل	تابع وابستگی زمان - مصالح ۳۵
۶.۴ شکل	منحنی تغییر شکل و ضرایب خزش ۳۵
۷.۴ شکل	مقطع دماغه ۳۶
۸.۴ شکل	معرفی مشخصات دماغه ۳۷
۹.۴ شکل	مقطع صندوقه‌ی عرشه ۳۷
۱۰.۴ شکل	معرفی جزئیات مدل‌سازی صندوقه عرشه ۳۸

مشخصات صندوقه عرشه ۳۸	شکل ۱۱.۴
معرفی مدل ILM ۳۹	شکل ۱۲.۴
فرضیات مدل کارگاه پیش‌رانی ۴۰	شکل ۱۳.۴
کابل‌گذاری صندوقه ۴۱	شکل ۱۴.۴
معرفی کابل‌گذاری بال‌های صندوقه ۴۱	شکل ۱۵.۴
معرفی مسیر کابل‌گذاری جان صندوقه ۴۲	شکل ۱۶.۴
نمونه‌ای از معرفی مسیر کابل‌گذاری ۴۲	شکل ۱۷.۴
شمایی از مدل کامل ۴۳	شکل ۱۸.۴
اتصال دماغه به عرشه در مدل ۴۳	شکل ۱۹.۴
شمایی از عرشه با کابل‌های معرفی شده ۴۳	شکل ۲۰.۴
مقطع عرشه با کابل‌های معرفی شده ۴۴	شکل ۲۱.۴
بارگذاری ویژه‌ی دیافراگم‌ها ۴۶	شکل ۲۲.۴
دیافراگم محل اتصال عرشه به دماغه ۴۷	شکل ۲۳.۴
دیافراگم میانی در محل پایه‌ها ۴۷	شکل ۲۴.۴
خروجی تحلیل مدل ۱ ۴۸	شکل ۲۵.۴
خروجی تحلیل مدل ۲ ۴۸	شکل ۲۶.۴
پایه متحرک بالابر جهت انتقال قالب‌ها و شبکه‌های آرماتوربندی ۵۰	شکل ۱.۵
محوطه عمومی کارگاهی ۵۱	شکل ۲.۵
پاگرد لازم در تراز رأس پایه‌های پیش‌رانی ۵۷	شکل ۳.۵
پایه‌های در حال تکمیل و پاگرد تراز رأس پایه‌ها ۵۸	شکل ۴.۵
دماغه پیش‌رونده در حین اجرای عملیات پل‌سازی ۶۱	شکل ۵.۵
اتصال دماغه با اولین قطعه پیش‌رانی ۶۶	شکل ۶.۵
(ادامه) اتصال دماغه با اولین قطعه پیش‌رانی ۶۷	شکل ۶.۵
جزئیات سیستم پیش‌رانی عرشه ۶۷	شکل ۷.۵
اتصال کابل‌ها با جک پیش‌رانی روی پایه‌های موقت ۶۸	شکل ۸.۵
شفت کششی داخل مقطع جهت پیش‌رانی ۶۸	شکل ۹.۵
رأس شفت یا براکت کششی ۶۹	شکل ۱۰.۵
جک پیش‌رانی ۶۹	شکل ۱۱.۵
سیستم پیش‌رانی، جک پیش‌رانی و تیر اتصال به کوله ۶۹	شکل ۱۲.۵
عملیات کشش و پیش‌رانی قطعه‌ها در پایه‌های موقت ۷۰	شکل ۱۳.۵
پلان محوطه‌ی کارگاه ساخت قطعات و پیش‌رانی ۷۰	شکل ۱۴.۵
شکل استقرار عمومی نئوپرن‌ها روی پایه‌های میانی ۷۳	شکل ۱۵.۵
درجه آزادی تکیه‌گاه‌ها ۷۳	شکل ۱۶.۵
جزئیات درجات آزادی POT BEARING ها ۷۴	شکل ۱۷.۵

جزئیات از انواع POT BEARING ها و درجات آزادی آن	۷۴	شکل ۱۸.۵
جزئیات POT BEARING و مشخصات طرح	۷۵	شکل ۱۹.۵
POT BEARING طرح T2 و T3	۷۵	شکل ۲۰.۵
انواع POT BEARING طرح T2 و T3	۷۶	شکل ۲۱.۵
مهار POT BEARING طرح T2 و T3	۷۶	شکل ۲۲.۵
ابعاد مهاری‌های POT BEARING طرح T2 و T3	۷۷	شکل ۲۳.۵
انواع POT BEARING طرح T1	۷۷	شکل ۲۴.۵
مهار POT BEARING طرح T1	۷۸	شکل ۲۵.۵
ابعاد مهاری‌های POT BEARING طرح T1	۷۸	شکل ۲۶.۵
رسیدن نوک دماغه به تکیه‌گاه لغزنده‌ی کوله‌ی مقابل	۷۹	شکل ۲۷.۵
عبور قطعه از روی تکیه‌گاه لغزنده	۸۰	شکل ۲۸.۵
عبور قطعه از روی تکیه‌گاه لغزنده	۸۰	شکل ۲۹.۵
استقرار استاتیکی قطعه روی تکیه‌گاه لغزنده	۸۱	شکل ۳۰.۵
عبور دماغه از روی تکیه‌گاه لغزنده	۸۱	شکل ۳۱.۵
نمایی از تکیه‌گاه لغزنده روی پایه‌ها	۸۲	شکل ۳۲.۵
سازه‌ی طولی مسیر لغزش پیش‌رانی	۸۲	شکل ۳۳.۵
ساختار صفحه‌ی لغزش	۸۲	شکل ۳۴.۵
درزهای انبساطی لاستیکی	۸۳	شکل ۳۵.۵
درزهای انبساطی عرشه	۸۴	شکل ۳۶.۵
درزهای انبساطی پیاده‌روها	۸۴	شکل ۳۷.۵
یک نمونه نصب شده از درزهای انبساطی مکانیکی	۸۴	شکل ۳۸.۵
یک نمونه از درزهای انبساطی مکانیکی قابل استفاده در پل‌های طویل	۸۵	شکل ۳۹.۵
ابعاد انواع مختلف درز انبساطی مکانیکی معرفی شده	۸۵	شکل ۴۰.۵
قالب‌بندی داخلی قطعه	۸۶	شکل ۴۱.۵
نمای جانبی قالب‌بندی قطعه‌ها	۸۷	شکل ۴۲.۵
آرماتوربندی و نصب شبکه میل‌گردها	۸۸	شکل ۴۳.۵
تعبیه غلاف‌های پس‌تنیدگی	۸۹	شکل ۴۴.۵
مشخصات غلاف‌های پس‌تنیدگی	۸۹	شکل ۴۵.۵
بخش اول بتن‌ریزی قطعه	۹۱	شکل ۴۶.۵
بخش دوم بتن‌ریزی قطعه	۹۱	شکل ۴۷.۵
بستن براکت کشش و اتصال کابل‌های کشنده	۹۵	شکل ۴۸.۵
نمایی از جک‌های کشش	۹۵	شکل ۴۹.۵
هدایت‌کننده‌های عرضی	۹۶	شکل ۵۰.۵
نمایی از داخل قالب دیواره صندوقه	۹۷	شکل ۵۱.۵

مجموعه قالب دیواره صندوقه در مرحله ی ۱	۹۸	شکل ۵۲.۵
نمای عمومی از مجموعه قالب در مرحله ی ۱	۹۸	شکل ۵۳.۵
مجموعه قالب داخلی متحرک در مرحله ی ۲	۹۹	شکل ۵۴.۵
دستگاه کنترل جک	۱۰۱	شکل ۵۵.۵
هدایت کننده های عرضی	۱۰۱	شکل ۵۶.۵
دیاگرام سیستم ZLD	۱۰۲	شکل ۵۷.۵
ساختمان جک ZLD	۱۰۲	شکل ۵۸.۵
دیاگرام سیستم هیدرولیک	۱۰۳	شکل ۵۹.۵
مکانیزم کلی عملکرد پیش رانی	۱۰۵	شکل ۶۰.۵
چینش جک های قائم روی پایه ها	۱۰۶	شکل ۶۱.۵
پلان چینش جک های قائم روی پایه ها	۱۰۶	شکل ۶۲.۵
شمایی از جک های قائم روی پایه ها و پمپ آن	۱۰۷	شکل ۶۳.۵
شمای کناری از جک های قائم روی پایه ها و پمپ آن	۱۰۷	شکل ۶۴.۵
طرح شماتیک تجهیزات رولینگ افقی	۱۰۸	شکل ۶۵.۵
تصویر تجهیزات پوششی بر روی نقطه نیروی مقابل	۱۰۸	شکل ۶۶.۵
ابعاد تکیه گاه YDCLD200 - 200	۱۱۲	شکل ۶۷.۵
ابعاد تکیه گاه YDCLD200 - 200	۱۱۳	شکل ۶۸.۵
نمایی از جک ZLD	۱۱۳	شکل ۶۹.۵
نمایی از جک ZLD و سیستم پیش رانی	۱۱۴	شکل ۷۰.۵
مراحل ۲ تا ۴	۱۱۹	شکل ۱.۶
قالب بندی و کشش به سوی کوله ها	۱۲۰	شکل ۲.۶
سیستم کشش	۱۲۸	شکل ۱.۷
جک های پیش رانی	۱۲۹	شکل ۲.۷
جایگذاری میله های کشنده	۱۳۰	شکل ۳.۷
کارگاه ساخت پل با پلان در قوس	۱۳۱	شکل ۴.۷
قید خودکار پستی و عملکرد متناوب	۱۳۳	شکل ۵.۷
پیستون فشارنده با کنتراست مکانیکی (در طول ساخت قطعه، دندانها با صفحات صلب نئو - فلن محافظت می شود).	۱۳۴	شکل ۶.۷
عملکرد متناوب پیش ران اصطکاکی	۱۳۵	شکل ۷.۷
کاهش عکس العمل تکیه گاهی در پیش رانی طی آخرین مرحله پیش رانی پل رودخانه سریو (خط پیوسته براساس محاسبات تئوریک و خط چین آمار ثبت شده را نشان می دهد، عکس العمل ها مستلزم حرکت عرشه با ضریب اصطکاک کلی ۲۹ درصد می باشد. پیش از استفاده از دنباله ی دماغه عکس العمل تکیه گاهی به واسطه نیروی بلند کننده ی عرشه افزایش می یابد).	۱۳۷	شکل ۸.۷

- شکل ۹.۷ پل رودخانه سریو - در آخرین مرحله پیش‌رانی دنباله فولادی دماغه اجازه به‌کارگیری از نیروی اضافه در کابل‌های کشنده را فراهم می‌آورد. ۱۳۷
- شکل ۱۰.۷ سکوهاى متحرک امکان ساخت عرشه‌ها با عرض متغیر را فراهم می‌سازد. ۱۳۹
- شکل ۱۱.۷ زین پیش‌رانی ۱۴۰
- شکل ۱۲.۷ دماغه در محل رسیدن به پایه با جک‌های هیدرولیکی ۱۴۱
- شکل ۱۳.۷ نیروی فشاری برای پل رودخانه سریو. نیروی جنبش اصطکاک، نیروی جدایی که به صورت خطی در طول پیش‌رانی افزایش نیافته‌اند. ۱۴۵

## فهرست جداول

معادل سازی دماغه در مدل سازی	۳۶	جدول ۱.۴
بارگذاری دیافراگمها	۴۶	جدول ۲.۴
حداقل عرض لازم در پاگرد تراز رأس پایه جهت انجام عملیات پیش رانی	۵۷	جدول ۱.۵
چرخش اضافی لازم برای پیش تنیده کردن پیچها	۶۵	جدول ۲.۵
مشخصات صفحات PTFE مطابق آیین نامه BS	۸۳	جدول ۳.۵
حداقل زمان توصیه شده برای قالب برداری	۸۷	جدول ۴.۵
پارامترهای فنی جک ZLD 100	۱۰۴	جدول ۵.۵
پارامترهای فنی جک ZLDB	۱۰۴	جدول ۶.۵
لیست تجهیزات	۱۰۵	جدول ۷.۵
راه حل های مشکلات متداول حین اجرا	۱۱۱	جدول ۸.۵
سازمان و حداقل پرسنل مورد نیاز برای پیش رانی	۱۱۲	جدول ۹.۵
زمان بندی اجرای پل	۱۱۲	جدول ۱۰.۵
حداقل پوشش اجزا	۱۱۶	جدول ۱.۶
مشخصات کابل	۱۱۷	جدول ۱۰.۵



ضرورت ساخت پل‌های پیش‌رانی