

## یادداشت فنی

## استفاده از مهندسی ارزش در طرح پمپاژ کوه‌رنگ با هدف کنترل و کاهش پدیده ضربه قوچ

جلیل عمادی<sup>۱\*</sup> و عباس سلیمانی<sup>۲</sup>

## چکیده

در شروع عملیات اجرایی پروژه انتقال آب از رودخانه کوه‌رنگ به چشمه مروارید به صورت پمپاژ یک مرحله‌ای، کارفرما با مشکل زمان و هزینه زیاد برای سفارش و تهیه اجزاء اصلی طرح مانند پمپ‌های فشار قوی، لوله‌های فولادی با فشار کار ۴۰ اتمسفر و همچنین مخازن ضربه‌گیر روبرو شده بود. بنابراین در مراحل بازنگری طرح دو گزینه مطرح شد که از مهندسی ارزش برای مقایسه زمان ساخت و اجرا، هزینه و میزان ضربه قوچ و مسائل مربوطه هر دو گزینه استفاده شد. در این مقاله، ایستگاه پمپاژ و خط انتقال آن در شرایط پایدار و ناپایدار هیدرولیکی برای دو گزینه پیشنهادی در نرم‌افزار Hammer مدل‌سازی شد. نتایج به دست آمده نشان داد که اعمال مهندسی ارزش می‌تواند موجب حذف مخازن ضربه‌گیر و کاهش خطر ناشی از پدیده ضربه قوچ و همچنین کاهش حدود ۲۰ تا ۳۰ درصدی زمان و هزینه‌های تهیه و اجرای اجزاء مختلف طرح گردد.

**واژه‌های کلیدی:** ضربه‌قوچ، کوه‌رنگ، مخزن ضربه‌گیر، مهندسی ارزش، نرم‌افزار Hammer.

ارجاع: عمادی ج و سلیمانی ع. ۱۳۹۴. استفاده از مهندسی ارزش در طرح پمپاژ کوه‌رنگ با هدف کنترل و کاهش پدیده ضربه قوچ. مجله پژوهش آب ایران. ۱۸: ۱۷۱-۱۷۵.

۱- مربی گروه عمران، دانشکده عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردستان.  
۲- کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردستان.

\* نویسنده مسئول: [emadi\\_54@yahoo.com](mailto:emadi_54@yahoo.com)

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۹/۱۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۰/۱۳

## مقدمه

مهندسی ارزش، مجموعه‌ای متشکل از چندین روش فنی است که با بازنگری و تحلیل اجزای کار، می‌تواند اجرای کامل طرح را با کمترین هزینه و زمان، تحقق بخشد (عرب، ۱۳۸۶). کاربرد مهندسی ارزش در پروژه‌های اجرایی می‌تواند صرفه جویی اقتصادی و همچنین مدیریت کنترل هزینه‌ها را فراهم کند (لی، ۲۰۰۹).

مهندسی ارزش با سایر روش‌های کاهش هزینه متفاوت است، چرا که با دو عامل کاهش ارزش یعنی "زمان" و "عادت" مبارزه می‌کند (جبل عاملی، ۱۳۸۰). مثال‌های بی‌شماری از طراحی‌های ضعیف به علت محدودیت زمانی و عدم موشکافی وجود دارد که لازم است محصول یا خدمت دوباره طراحی شود ولی چنانچه این محصولات بر اساس ارتباط کارکرد- ارزش طراحی شده بودند، دیگر به این دوباره کاری‌ها احتیاجی نبود (رحمانیان کوشکی، ۱۳۸۱).

مهندسی ارزش در سال ۱۹۴۷ در نیروی دریایی آمریکا به کار گرفته شد (انونیموس<sup>۱</sup>، ۱۹۹۸). در سال‌های دهه ۱۹۷۰ انجمن مهندسی ارزش در کشورهای اروپایی، کانادا و ژاپن تشکیل شد و به کارگیری آن در پروژه‌های عمرانی در بسیاری از کشورها اجباری است (دل ایسولا، ۱۹۸۲). در ایران نیز از سال ۱۳۷۸ این موضوع مطرح شد (عرب، ۱۳۸۶). به عنوان نمونه در پروژه احداث زیرسازی راه‌آهن تهران- مشهد برای کاهش هزینه‌ها در تهیه نوع مصالح (میرمحمدصادقی و مدقالچی، ۱۳۸۴) و در شبکه آبیاری و زهکشی دانشمند در استان گلستان برای کاهش زمان و هزینه پوشش کانال‌ها استفاده شده است (غلامی، ۱۳۸۶). همچنین در پروژه انتقال آب از سدتهم و بند انحراف آب همایون به تصفیه خانه زنجان از مهندسی ارزش برای کاهش هزینه‌های بدنه سد استفاده شد (فتحی و زینعلی، ۱۳۸۷).

موج‌های فشاری و ضربه قوچ در یک سیستم انتقال به علل مختلفی مانند قطع و وصل ناگهانی شیرها و یا از کار افتادن ناگهانی موتور پمپ‌ها به وجود می‌آیند و کاهش میزان ضربه قوچ همواره به عنوان یکی از مهم‌ترین مشکلات برای مهندسان و طراحان خطوط انتقال از جنبه‌های فنی و اقتصادی مطرح بوده است. منابع ورود به

علم دینامیک سیال، منابع تجربی، تحلیلی و عددی هستند. به طور معمول منابع تجربی محدودیت‌های بسیاری چون هزینه‌های زیاد، اثرات مخرب، مقیاس، ابعاد مدل و ... به همراه دارند اما ظهور رایانه‌ها، عصر جدیدی از تجزیه و تحلیل مسائل ضربه قوچ را پدیده آورده و کاربردهای وسیعی در طرح‌های انتقال سیال یافته‌اند (آشفته و پزشکی‌راد، ۱۳۷۳). در این مطالعه برای شبیه‌سازی خطوط انتقال در شرایط پایدار و ناپایدار هیدرولیکی از نرم‌افزار Hammer استفاده شده که از روش خطوط مشخصه برای حل معادلات جریان ناپایدار استفاده می‌نماید.

در این پژوهش برای مقایسه اثر جنس لوله‌ها در هزینه و همین‌طور تأثیر آن در میزان ضربه قوچ دو جنس فایبرگلاس و فولادی در نظر گرفته شد. لوله‌های فایبرگلاس<sup>۲</sup> اولین بار در سال ۱۹۴۸ تولید شد و دارای یک ساختار کامپوزیتی از رزین، الیاف شیشه و مواد دیگر می‌باشند. این لوله‌ها در مواردی مانند انتقال آب، جمع‌آوری فاضلاب، جمع‌آوری آب‌های سطحی، انتقال آب دریا، شبکه‌های آبیاری و زهکشی کاربرد دارند. برای استخراج مشخصات فنی آن‌ها از استانداردهای AWWA M45<sup>۳</sup> (۱۹۹۶)، ANSI/AWWA C950<sup>۴</sup> (۲۰۰۱) و ASTM 01<sup>۵</sup> (۲۰۰۱-۲۰۰۳) استفاده شده است. همچنین برای مشخصات فنی لوله فولادی، از آخرین چاپ نشریه M11 راهنمای انجمن کارهای آبی آمریکا تحت عنوان طراحی و نصب لوله‌های فولادی در کارهای آبی استفاده شد (AWWA, 2004).

## نتایج و بحث

## شبیه‌سازی هیدرولیکی خط انتقال در طرح اولیه در شرایط پایدار و ناپایدار هیدرولیکی

در شکل ۱ نتایج اجرای مدل در شرایط ناپایدار هیدرولیکی و بدون تجهیزات کنترل ضربه ارائه شده که نوسانات موج فشاری مثبت را در سرتاسر مسیر نشان می‌دهد و بیشترین میزان ضربه در محل ایستگاه برابر ۲۷۱۴ متر ستون آب است.

اما نتایج اجرای مدل در شرایط ناپایدار هیدرولیکی با قرار

2- Glass Reinforced Pipe

3 -American Water Works Association

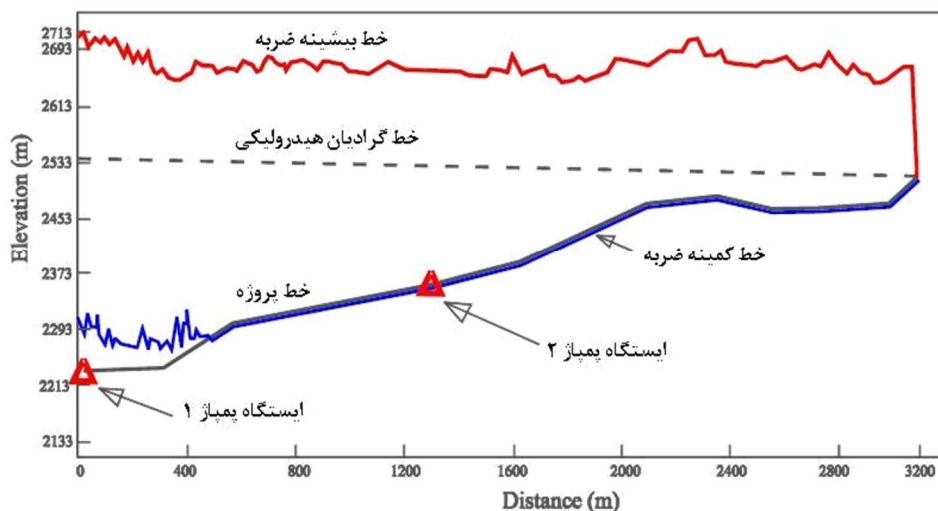
4 -American National Standards Institute

5- American Society for Testing and Materials

1- Anonymous

به طور کامل از بین رفته و فقط در حدود ۳۰ متر فشار آب ناشی از ضربه در محل ایستگاه باقی می ماند.

دادن دو تانک ضربه گیر ۶/۵ مترمکعبی در ایستگاه نشان داد که با قرار دادن دو تانک مذکور نوسانات موج فشاری



شکل ۱- مقایسه خطوط فشارهای دینامیک پیشینه و کمینه خط انتقال آب کوه‌رنگ بدون تجهیزات کنترل ضربه قوچ (طبق مشخصات جدول ۱)

تحمل کند در حدود ۲۱۵ متر ستون آب است. بنابراین میزان کاهش ضربه و موج فشاری مثبت را تا حد زیادی شاهد هستیم. در نهایت لوله‌های فایبرگلاس با فشار کار ۲۵ اتمسفر در کل مسیر خط انتقال بدون وجود تجهیزات کنترل ضربه در کل مسیر قادر به تحمل فشارهای وارده خواهند بود.

#### نتیجه‌گیری

- نتایج نشان داد که استفاده از لوله فایبرگلاس در پروژه‌های انتقال آب می‌تواند سبب کاهش پدیده ضربه قوچ شود و نسبت به لوله‌های فولادی می‌تواند جایگزین مناسبی باشد.
- استفاده از لوله فایبرگلاس سبب حذف دو تانک ضربه‌گیر ۶/۵ مترمکعبی می‌شود که موجب صرفه‌جویی در حدود ۷۰۰ میلیون ریال خواهد شد (جدول ۲).
- برای پروژه کوه‌رنگ با دو مرحله‌ای شدن پمپاژ، می‌توان موجب کاهش ۲۰ تا ۳۰ درصدی هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه شد.
- زمان تهیه و نصب پمپ‌ها در حالت پمپاژ دو مرحله‌ای در حدود یک سوم پمپاژ یک مرحله‌ای است.

#### نتایج مدل‌سازی هیدرولیکی گزینه (۱)

نتایج نشان می‌دهد که با دو مرحله‌ای شدن پمپاژ (طبق جدول ۱) در حدفاصل ایستگاه (۱) تا ایستگاه (۲) با جنس فولادی، میزان ضربه بسیار کاهش می‌یابد و در حدود ۷۰ متر ستون آب است که در حدود نصف هد دینامیک است. ولی حدفاصل ایستگاه پمپاژ شماره (۲) تا انتهای خط انتقال، میزان نوسانات موج فشاری مثبت بیشتر می‌شود و میزان خالص ضربه در محل ایستگاه (۲) به حدود ۲۰۰ متر ستون آب و با اضافه کردن فشار دینامیک پمپاژ جمع فشاری که لوله باید تحمل کند به ۳۵۰ متر ستون آب می‌رسد. پس با توجه به ضخامت ۶/۳ میلی‌متر و قطر ۵۰۰ لوله فولادی، این لوله تا فشار حدود ۲۷ اتمسفر را می‌تواند تحمل نماید. بنابراین برای کاهش ضربه تا حد تحمل این لوله با توجه به نتایج مدل‌سازی، به تانک ضربه‌گیر تحت فشار با حجم ۴/۵ مترمکعب نیاز است.

#### نتایج مدل‌سازی هیدرولیکی گزینه (۲)

نتایج مدل‌سازی پمپاژ دو مرحله‌ای (طبق جدول ۱) حدفاصل ایستگاه (۱) تا ایستگاه (۲) با جنس فایبرگلاس، نشان داد که میزان خالص پیشینه ضربه بدون قرار دادن تجهیزات کنترلی، بین ۴۰ تا ۶۵ متر ستون آب است و با اضافه کردن فشار دینامیک، حداکثر فشاری که لوله باید

جدول ۱- مقایسه مشخصات فنی طرح‌ها

گزینه (۲)	گزینه (۱)	طرح اولیه	نوع پمپ‌ها
WKL 150/4	WKL 150/4	CV 200/4	تعداد مراحل پمپاژ
۲	۲	۱	تعداد کل پمپ‌ها
۶+۲	۶+۲	۳+۱	تعداد کل موتورها
۶+۲	۶+۲	۳+۱	مجموع توان مورد نیاز (کیلووات)
۱۵۰۰	۱۵۰۰	۱۶۸۰	خط لوله با قطر ۵۰۰ میلی‌متر
فایبرگلاس با ضخامت ۱۰ mm	فولادی با ضخامت ۶/۳ mm	فولادی با ضخامت ۱۱ mm	سرعت موج (متر بر ثانیه)
۶۵۰	۸۵۰	۱۰۴۰	تعداد مخزن مکش بتنی $1500 m^3$
۲	۲	۱	طول خط انتقال برق (کیلو متر)
۱	۱	۰	ولتاژ مورد نیاز (ولت) ترانس برق
۳۸۰	۳۸۰	۶۶۰۰	فشار کاری شیرآلات و اتصالات
۲۵	۲۵	۴۰	حجم مخزن ضربه‌گیر تحت فشار ( $m^3$ )
۰	۱×۴/۵	۲×۶/۵	

جدول ۲- مقایسه اقتصادی طرح‌ها (میلیون ریال)

طرح (۲)	طرح (۱)	طرح اولیه	
۱۶۸۰	۱۶۸۰	۴۴۰۰	هزینه تهیه پمپ‌ها و موتورها (ریال)
۵۰۰	۵۰۰	۳۰۰	هزینه تهیه و نصب ترانس‌های برق (ریال)
۱۵۰	۱۵۰	-	هزینه اجرای خط انتقال برق (ریال)
۴۰۰	۴۰۰	۲۲۰	هزینه تهیه و نصب تابلوهای برق
۷۰۰	۷۰۰	۵۰۰	هزینه تهیه و نصب شیرآلات و اتصالات
۳۵۵۳	۴۳۲۶	۷۴۱۶	هزینه تهیه و نصب لوله
۳۰۰۰	۰۰۰	۱۰۵۰۰	اجرای مخزن مکش $1500$ مترمکعبی
-	۲۵	۷۰۰	هزینه تجهیزات کنترل ضربه قوچ
۶۰۰	۶۰۰	۳۷۵	هزینه معماری و ساختمان ایستگاه پمپاژ
۱۰۵۸۳	۱۱۳۸۱	۱۵۴۱۱	جمع کل هزینه‌ها

### سپاس‌گزاری

بدینوسیله نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از حوزه معاونت پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردستان در اجرای طرح پژوهشی "بررسی عوامل مؤثر در پدیده ضربه قوچ در ایستگاه‌های پمپاژ و روش‌های کنترل آن" و این پژوهش تشکر و قدردانی کنند.

### منابع

۱. آشفته ج. و پزشکی راد ع. ۱۳۷۳. هیدرولیک کاربردی جریانه‌های میرا. جلد اول. چاپ اول (ترجمه و تألیف). نشر کبیری. ۴۹۰ ص.
۲. جبل عاملی م. س. ۱۳۸۰. مهندسی ارزش فرآیندی کارا برای تحلیل عملکرد و بهبود طرح و پروژه‌ها. نشریه علمی دانشجویان دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران. ۱۳(۱): ۳-۱۱.
۳. رحمانیان کوشکی م. ۱۳۸۱. مهندسی ارزش. وزارت تعاون. مجله مهندسی ارزش. ۴: ۱۵-۳۵.
۴. عرب د. ۱۳۸۶. مروری بر مفاهیم بنیادی و روند تکاملی مهندسی ارزش. کنفرانس ملی توسعه نظام اجرایی پروژه‌های عمرانی، صنعتی و شهری، کارگاه آموزشی مهندسی ارزش در پروژه‌های عمرانی. ۷۳-۸۳.
۵. غلامی م. ۱۳۸۶. استفاده از مهندسی ارزش در مدیریت اجرایی پروژه دانشمند. دومین کنفرانس ملی تجربه‌های ساخت تأسیسات آبی و شبکه‌های آبیاری و زهکشی. دانشگاه تهران. ۲: ۶۴-۷۴.

۱. آشفته ج. و پزشکی راد ع. ۱۳۷۳. هیدرولیک کاربردی جریانه‌های میرا. جلد اول. چاپ اول (ترجمه و تألیف). نشر کبیری. ۴۹۰ ص.
۲. جبل عاملی م. س. ۱۳۸۰. مهندسی ارزش فرآیندی کارا برای تحلیل عملکرد و بهبود طرح و پروژه‌ها.

۶. فتحی ع. و زینعلی ف. ۱۳۸۷. مهندسی ارزش در پروژه انتقال آب سد نهم زنجان به تصفیه‌خانه. مجله مهندسی ارزش. ۱۵: ۳۸-۴۸.
۷. میرمحمد صادقی ع. و مدقالچی ع. ۱۳۸۴. بکارگیری مهندسی ارزش در زیرسازی راه آهن. اولین همایش مهندسی ارزش در حمل و نقل کشور. ۲: ۹۷-۱۰۹.
8. Anonymous. 1998. Value methodology standard, SAVE International. 332 p.
9. AWWA. 2004. Steel Water Pipe: A Guide for Design and Installation (AWWA-M 11). 241 p.
10. Dell'Isola A. J. 1982. Value Engineering In Construction Industry. Construction Publishing Crop., Inc., N.Y. 450 p.
11. <http://www.haestad/Hammer> User's Guide. 475 p.
12. Lyer S. S. 2009. Value Engineering. Edition 3. Publisher: New Age International (P) Limited. 296 p.