۴۷ پیمانه‌ی مس و ۹۰ «مثلث» VA در پیرامون ساختار پیر و هندسه‌ی آب‌های هلال — ۲

پوشانند. استخراج آب، ژئوتکنیک، فرسایش زمین و ژئومورفولوژی در مدرسه‌ی هندسه‌ی دانشگاه شهر هیرمند، امسال سومین دوره‌ی کارگاه «مثلث VA» را برگزار کرد. این کارگاه که ۴۷ پیمانه مس در اختیار داشت و ۹۰ مثلث VA را در عمق ۱۲ متری آب‌های آبرفتی پیاده کرد، بر پایه‌ی کار پیر هرمان و تیمی از مهندسان طراحی شد که می‌خواست نشان دهد چگونه می‌توان بدون حفاری گسترده، جریان آب زیرزمینی را با آرایش مثلث‌های مسی هدایت کرد. هدف عملی روشن بود: کاهش فرسایش کناره‌ی رودخانه‌ی شور و افزایش ذخیره‌ی آب در لایه‌های آبرفتی بالادست بدون ساختن سد یا کانال بتنی.

مثلث VA در این کارگاه یک واحد ساختاری است شامل سه میله‌ی مسی به طول ۱.۲ متر که به شکل مثلث متساوی‌الاضلاع در عمق مشخص در آب فرو می‌رود و سپس با زاویه‌ی ۱۵ درجه نسبت به افق تثبیت می‌شود. پیر هرمان می‌گوید ایده از مشاهده‌ی لانه‌ی موریانه‌ها گرفته شد که با آرایش مشابه آب را به سمت ریشه‌ها هدایت می‌کنند. در کارگاه، هر مثلث با کابل مسی به یکدیگر وصل می‌شد و داده‌های فشار آب و سرعت جریان هر ساعت ثبت می‌شد. تیم ۶ نفره از دانشجویان و کارشناسان محلی هر روز صبح مثلث‌ها را بازرسی می‌کرد و رسوب روی میله‌ها را پاک می‌کرد تا از گرفتگی جلوگیری شود.

نتایج میدانی نشان می‌دهد در بخشی از مسیر به طول ۳۰۰ متر، میزان فرسایش کناره نسبت به سال پایه ۳۱ درصد کاهش یافته و سطح آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهده‌ای ۰.۴ متر بالاتر آمده است. البته گزارش تأکید دارد که این اعداد هنوز آزمایشی‌اند و نمونه‌ی کافی برای تعمیم به کل دشت وجود ندارد. مهندس فرهاد نیک‌پی از دانشگاه شهر هیرمند گفت اگر همین آرایش در ۵ کیلومتر تکرار شود، هزینه‌ی اجرا حدود ۱۸ درصد کمتر از سد کوتاه خواهد بود و نیاز به تخلیه‌ی مخزن و جابه‌جایی روستا وجود ندارد.

با این حال منتقدان هشدار داده‌اند که مثلث‌ها می‌توانند رسوب را در پایین‌دست جمع کنند و مسئله‌ی حقابه‌ی کشاورزان پایین‌دست هنوز حل نشده است. پاسخ تیم این است که قرارداد اجرا شامل پایش ماهانه و جبران خسارت در صورت افت سطح آب چاه‌های روستایی است. مدیر طرح قرار است گزارش نهایی را تا پاییز ۱۴۰۳ تحویل دهد و اگر نتایج تأیید شود، مرحله‌ی دوم با ۲۰۰ مثلث در ۲ کیلومتر آغاز می‌شود. کارگاه همچنین پیشنهاد کرد آموزش نگهداری مثلث‌ها به کشاورزان محلی داده شود تا رسوب‌گیری دستی جایگزین هزینه‌های ماشینی شود.

(صفحه‌ی ۱۲ ادامه‌ی «مثلث VA»)

بخش دوم: ساخت مثلث‌ها با مس و کابل

پس از تأیید طرح، کارگاه به بخش ساخت مثلث‌ها رسید. هر مثلث از سه میله‌ی مسی به قطر ۱۲ میلی‌متر ساخته می‌شد که با کابل مسی عایق‌دار به یکدیگر وصل می‌شد. تیم ۱۸ نفره ابتدا الگوی فلزی را روی میز کار برید و سپس میله‌ها را با جوش نقره و لحیم قلع به هم متصل کرد. هر مثلث وزنی حدود ۴۰ کیلوگرم داشت و برای جابه‌جایی به قایق‌های کوچک نیاز بود. کارگران محلی که قبلاً با قایق ماهی‌گیری کار می‌کردند، در این بخش نقش کلیدی داشتند و راه‌های کم‌عمق را بهتر از مهندسان می‌شناختند.

آزمایش اول در عمق ۱.۵ متر انجام شد و مثلث‌ها ظرف ۴۸ ساعت رسوب زیادی جمع کردند. تیم تصمیم گرفت زاویه‌ی میله‌ها را از ۱۵ به ۲۰ درجه تغییر دهد تا جریان آب سریع‌تر از روی مثلث‌ها عبور کند و رسوب کمتر بماند. نسخه‌ی اصلاح‌شده در عمق ۲ متر آزمایش شد و میزان رسوب حدود ۴۰ درصد کاهش یافت. مهندس فرهاد نیک‌پی گفت این عدد هنوز بالا است اما برای یک طرح آزمایشی قابل قبول است. او پیشنهاد کرد در فاز دوم از مش فلزی روی دهانه‌ی مثلث‌ها استفاده شود تا ماهی‌ها وارد نشوند و مسئله‌ی حقابه‌ی کشاورزان پایین‌دست حل شود.

مرحله‌ی بعد نصب ۲۰ مثلث در کیلومتر ۱.۲ رودخانه بود. تیم با قایق‌های کوچک مثلث‌ها را به جای از پیش تعیین‌شده فرو برد و با طناب به ساحل وصل کرد. دوربین‌های زیر آب تغییر زاویه‌ی میله‌ها را ثبت کردند و داده‌ها روزانه به دفتر طرح فرستاده شد. در هفته‌ی سوم، رسوب در ۱۴ مثلث به حد پر شدن رسید و تیم ناچار شد مثلث‌ها را بالا بکشد و خالی کند. این کار نشان داد که طراحی باید با برنامه‌ی نگهداری همراه باشد و صرفاً ساخت کافی نیست.

در پایان کارگاه، ۳۱ مثلث سالم بیرون آورده شد و ۹ مثلث آسیب دید که بیشتر به دلیل برخورد با تنه‌ی درخت بود. تیم پیشنهاد کرد مثلث‌ها در آینده با زنجیر شناور به ساحل وصل شوند تا از جابه‌جایی در طوفان جلوگیری شود. هزینه‌ی کل طرح تا این مرحله ۴۲ میلیارد ریال برآورد شده است که کمتر از یک سد کوچک است. اگر مرحله‌ی دوم موفق باشد، برنامه‌ریزی برای ۳ کیلومتر دیگر در پاییز ۱۴۰۴ آغاز می‌شود و تیم قصد دارد گزارش کامل را تا اسفند منتشر کند.

(صفحه‌ی ۱۲ ادامه‌ی «مثلث VA»)

مثلث‌ها در کجا نصب شدند و چرا آب‌های کم‌عمق انتخاب شد

کارگاه در سه منطقه‌ی جداگانه از رودخانه‌ی شور نصب شد تا تفاوت عمق و سرعت جریان مقایسه شود. در بخش اول، عمق آب ۰.۸ متر و سرعت جریان ۰.۴ متر بر ثانیه بود و مثلث‌ها روی بستر شنی قرار گرفتند. در بخش دوم، عمق ۱.۵ متر و سرعت ۰.۶ متر بر ثانیه بود و مثلث‌ها با زنجیر به ستون‌های چوبی ساحل وصل شدند. بخش سوم کانال باریک‌تری بود که آب از آن به مزارع می‌رفت و مثلث‌ها در آن به شکل صف پشت سر هم چیده شدند تا جریان آب از میان آن‌ها عبور کند و رسوب در فاصله‌ی بین میله‌ها بماند.

تیم اندازه‌گیری شامل ۶ دستگاه سرعت‌سنج و ۴ دوربین ثابت بود که هر ساعت یک عکس ثبت می‌کرد. داده‌ها روزانه به دفتر طرح فرستاده می‌شد و مهندسان هر هفته گزارش می‌دادند. در بخش اول، رسوب در ۹ مثلث از ۱۲ مثلث ظرف ۶ هفته پر شد و در بخش دوم، ۱۱ مثلث از ۱۲ مثلث ظرف ۴ هفته پر شد. در بخش سوم، فقط ۳ مثلث پر شد و بقیه هنوز خالی بودند. این اعداد نشان می‌دهد که سرعت کم و عمق متوسط برای عملکرد مثلث‌ها مناسب است.

مشکل اصلی در بخش دوم پیدا شد. آب از کنار مثلث‌ها رد می‌شد و رسوب در مسیر باقی می‌ماند. تیم پیشنهاد کرد فاصله‌ی بین مثلث‌ها را از ۲ متر به ۱.۵ متر کاهش دهند و یک مثلث اضافی در انتهای هر ردیف بگذارند. در بخش سوم، مثلث‌ها با فاصله‌ی ۱.۵ متر نصب شدند و رسوب در ۸ مثلث از ۱۲ مثلث ظرف ۵ هفته جمع شد. این نتیجه نشان می‌دهد که فاصله‌ی کم بین مثلث‌ها برای جمع‌آوری رسوب مؤثرتر است.

هزینه‌ی کل طرح برای ۱۲ مثلث و تجهیزات ۴۸۰ میلیارد ریال برآورد شده است. تیم پیشنهاد کرد اگر طرح در سه فصل پیاپی موفق باشد، مرحله‌ی دوم با ۳۶ مثلث در ۳ کیلومتر دیگر از رودخانه‌ی شور اجرا شود. مدیر طرح گفت اگر همین طرح در ۵ کیلومتر تکرار شود، هزینه‌ی اجرا حدود ۱۸ درصد کمتر از سد کوتاه خواهد بود و نیاز به تخلیه‌ی مخزن و جابه‌جایی روستا وجود ندارد.

(صفحه‌ی ۱۲ ادامه‌ی «مثلث VA»)

بخش سوم: نگهداری مثلث‌ها و مشکل رسوب‌گیری

پس از اجرای مرحله‌ی دوم، تیم با مشکلی روبه‌رو شد که در طراحی اولیه پیش‌بینی نشده بود. رسوب‌گیری مثلث‌ها در فاصله‌ی کم میله‌ها بسیار دشوار بود و کارگران ناچار شدند با دست رسوب را بیرون بکشند. این کار هزینه‌ی نیروی کار را بالا برد و زمان اجرای هر مثلث را به ۳ روز رساند. مهندس فرهاد نیک‌پی گفت اگر قرار است این روش گسترش پیدا کند، باید یک دستگاه کوچک برای بیرون کشیدن مثلث‌ها طراحی شود تا کار سبک‌تر شود.

تیم پیشنهاد کرد فاصله‌ی بین مثلث‌ها در مرحله‌ی سوم به ۱.۵ متر کاهش یابد و یک مثلث اضافی در انتهای هر ردیف گذاشته شود. نتیجه نشان داد که رسوب در ۸ مثلث از ۱۲ مثلث ظرف ۵ هفته جمع شد. این عدد نسبت به مرحله‌ی دوم بهتر است اما هنوز بالا است. مدیر طرح گفت اگر همین طرح در ۵ کیلومتر تکرار شود، هزینه‌ی اجرا حدود ۱۸ درصد کمتر از سد کوتاه خواهد بود و نیاز به تخلیه‌ی مخزن و جابه‌جایی روستا وجود ندارد.

(صفحه‌ی ۱۲ ادامه‌ی «مثلث VA»)

مثلث‌ها و محیط زیست: آیا ماهی‌ها گیر می‌کنند؟

یکی از نگرانی‌های اصلی محیط‌زیستی درباره‌ی مثلث‌ها این بود که ماهی‌ها در فضای بین میله‌ها گیر کنند یا مسیر مهاجرت را از دست بدهند. تیم یک تور کوچک را در ۲۰ متری پایین‌دست مثلث‌ها نصب کرد و ۳۱ ماهی صید شد که ۲۷ تا از آن‌ها زنده رها شدند. گونه‌ی غالب ماهی کپور معمولی بود و تیم گزارش داد که هیچ تلفات ظاهری در ماهی‌ها دیده نشد. با این حال، نمونه‌ی کافی برای نتیجه‌گیری قطعی وجود ندارد و تیم پیشنهاد کرد آزمایش در فصل تخم‌ریزی تکرار شود.

مهندس فرهاد نیک‌پی گفت اگر قرار است این روش گسترش پیدا کند، باید یک دستگاه کوچک برای بیرون کشیدن مثلث‌ها طراحی شود تا کار سبک‌تر شود. او همچنین پیشنهاد کرد آموزش نگهداری مثلث‌ها به کشاورزان محلی داده شود تا رسوب‌گیری دستی جایگزین هزینه‌های ماشینی شود. این پیشنهاد هنوز بررسی نشده است اما تیم قصد دارد تا اسفند گزارش کامل را منتشر کند.

(صفحه‌ی ۱۲ ادامه‌ی «مثلث VA»)

مقایسه با روش‌های دیگر: چرا مثلث؟

در مقایسه با سد کوتاه، مثلث‌ها هزینه‌ی کمتری دارند و نیاز به تخلیه‌ی مخزن ندارند. در مقایسه با لایروبی، مثلث‌ها کار را به طور خودکار انجام می‌دهند و نیاز به کارگر ندارند. اما در مقایسه با آبگیر، مثلث‌ها آب را به طور کامل نمی‌گیرند و بخشی از آب به مسیر اصلی برمی‌گردد. تیم پیشنهاد کرد که مثلث‌ها برای کاهش فرسایش کناره‌ی رودخانه‌ی شور در ۵ کیلومتر دیگر اجرا شود و نتیجه‌ی آن در پاییز ۱۴۰۳ گزارش شود.

(صفحه‌ی ۱۲ ادامه‌ی «مثلث VA»)

هزینه‌ی کل طرح و زمان بازگشت سرمایه

هزینه‌ی کل طرح برای ۱۲ مثلث و تجهیزات ۴۸۰ میلیارد ریال برآورد شده است. تیم پیشنهاد کرد اگر طرح در سه فصل پیاپی موفق باشد، مرحله‌ی دوم با ۳۶ مثلث در ۳ کیلومتر دیگر از رودخانه‌ی شور اجرا شود. مدیر طرح گفت اگر همین طرح در ۵ کیلومتر تکرار شود، هزینه‌ی اجرا حدود ۱۸ درصد کمتر از سد کوتاه خواهد بود و نیاز به تخلیه‌ی مخزن و جابه‌جایی روستا وجود ندارد.

(صفحه‌ی ۱۲ ادامه‌ی «مثلث VA»)

بخش پایانی: چه کسانی پشت طرح ایستادند و چه کسانی هنوز پرسش دارند

طرح مثلث‌های VA در سه دانشگاه و دو شرکت مشاور اجرا شد و تیمی از ۴۲ کارشناس در آن مشارکت داشت. دانشگاه شهر هیرمند مسئولیت طراحی هندسی و آزمایش مدل را بر عهده داشت و شرکت آب‌پویا مسئولیت نصب و پایش میدانی را. هزینه‌ی کل طرح برای ۱۲ مثلث و ۲۰۰ متر آزمایش میدانی ۴۸۰ میلیارد ریال برآورد شده است. سهم هر مثلث از این مبلغ حدود ۴۰ میلیارد ریال است و شامل مس، کابل، جوش، حمل با قایق و دستمزد کارگران می‌شود. مدیر طرح گفت اگر مرحله‌ی دوم با ۳۶ مثلث انجام شود، هزینه‌ی هر مثلث به ۳۵ میلیارد ریال کاهش می‌یابد زیرا بخش بزرگی از تجهیزات قابل استفاده می‌ماند.

مهندس فرهاد نیک‌پی گفت اگر قرار است این روش گسترش پیدا کند، باید یک دستگاه کوچک برای بیرون کشیدن مثلث‌ها طراحی شود تا کار سبک‌تر شود. او همچنین پیشنهاد کرد آموزش نگهداری مثلث‌ها به کشاورزان محلی داده شود تا رسوب‌گیری دستی جایگزین هزینه‌های ماشینی شود. این پیشنهاد هنوز بررسی نشده است اما تیم قصد دارد تا اسفند گزارش کامل را منتشر کند.

(صفحه‌ی ۱۲ ادامه‌ی «مثلث VA»)

۴۷ پیمانه‌ی مس و ۹۰ «مثلث VA» در پیرامون ساختار پیر و هندسه‌ی آب‌های هلال — ۲

پوشانند. استخراج آب، ژئوتکنیک، فرسایش زمین و ژئومورفولوژی در مدرسه‌ی هندسه‌ی دانشگاه شهر هیرمند، امسال سومین دوره‌ی کارگاه «مثلث VA» را برگزار کرد. این کارگاه که ۴۷ پیمانه مس در اختیار داشت و ۹۰ مثلث VA را در عمق ۱۲ متری آب‌های آبرفتی پیاده کرد، بر پایه‌ی کار پیر هرمان و تیمی از مهندسان طراحی شد که می‌خواست نشان دهد چگونه می‌توان بدون حفاری گسترده، جریان آب زیرزمینی را با آرایش مثلث‌های مسی هدایت کرد. هدف عملی روشن بود: کاهش فرسایش کناره‌ی رودخانه‌ی شور و افزایش ذخیره‌ی آب در لایه‌های آبرفتی بالادست بدون ساختن سد یا کانال بتنی.

مثلث VA در این کارگاه یک واحد ساختاری است شامل سه میله‌ی مسی به طول ۱.۲ متر که به شکل مثلث متساوی‌الاضلاع در عمق مشخص در آب فرو می‌رود و سپس با زاویه‌ی ۱۵ درجه نسبت به افق تثبیت می‌شود. پیر هرمان می‌گوید ایده از مشاهده‌ی لانه‌ی موریانه‌ها گرفته شد که با آرایش مشابه آب را به سمت ریشه‌ها هدایت می‌کنند. در کارگاه، هر مثلث با کابل مسی به یکدیگر وصل می‌شد و داده‌های فشار آب و سرعت جریان هر ساعت ثبت می‌شد. تیم ۶ نفره از دانشجویان و کارشناسان محلی هر روز صبح مثلث‌ها را بازرسی می‌کرد و رسوب روی میله‌ها را پاک می‌کرد تا از گرفتگی جلوگیری شود.

نتایج میدانی نشان می‌دهد در بخشی از مسیر به طول ۳۰۰ متر، میزان فرسایش کناره نسبت به سال پایه ۳۱ درصد کاهش یافته و سطح آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهده‌ای ۰.۴ متر بالاتر آمده است. البته گزارش تأکید دارد که این اعداد هنوز آزمایشی‌اند و نمونه‌ی کافی برای تعمیم به کل دشت وجود ندارد. مهندس فرهاد نیک‌پی گفت اگر همین آرایش در ۵ کیلومتر تکرار شود، هزینه‌ی اجرا حدود ۱۸ درصد کمتر از سد کوتاه خواهد بود و نیاز به تخلیه‌ی مخزن و جابه‌جایی روستا وجود ندارد.

با این حال منتقدان هشدار داده‌اند که مثلث‌ها می‌توانند رسوب را در پایین‌دست جمع کنند و مسئله‌ی حقابه‌ی کشاورزان پایین‌دست هنوز حل نشده است. پاسخ تیم این است که قرارداد اجرا شامل پایش ماهانه و جبران خسارت در صورت افت سطح آب چاه‌های روستایی است. مدیر طرح قرار است گزارش نهایی را تا پاییز ۱۴۰۳ تحویل دهد و اگر نتایج تأیید شود، مرحله‌ی دوم با ۲۰۰ مثلث در ۲ کیلومتر آغاز می‌شود. کارگاه همچنین پیشنهاد کرد آموزش نگهداری مثلث‌ها به کشاورزان محلی داده شود تا رسوب‌گیری دستی جایگزین هزینه‌های ماشینی شود.

(صفحه‌ی ۱۲ ادامه‌ی «مثلث VA»)

۴۷ پیمانه‌ی مس و ۹۰ «مثلث VA» در پیرامون ساختار پیر و هندسه‌ی آب‌های هلال — ۲

پوشانند. استخراج آب، ژئوتکنیک، فرسایش زمین و ژئومورفولوژی در مدرسه‌ی هندسه‌ی دانشگاه شهر هیرمند، امسال سومین دوره‌ی کارگاه «مثلث VA» را برگزار کرد. این کارگاه که ۴۷ پیمانه مس در اختیار داشت و ۹۰ مثلث VA را در عمق ۱۲ متری آب‌های آبرفتی پیاده کرد، بر پایه‌ی کار پیر هرمان و تیمی از مهندسان طراحی شد که می‌خواست نشان دهد چگونه می‌توان بدون حفاری گسترده، جریان آب زیرزمینی را با آرایش مثلث‌های مسی هدایت کرد. هدف عملی روشن بود: کاهش فرسایش کناره‌ی رودخانه‌ی شور و افزایش ذخیره‌ی آب در لایه‌های آبرفتی بالادست بدون ساختن سد یا کانال بتنی.

مثلث VA در این کارگاه یک واحد ساختاری است شامل سه میله‌ی مسی به طول ۱.۲ متر که به شکل مثلث متساوی‌الاضلاع در عمق مشخص در آب فرو می‌رود و سپس با زاویه‌ی ۱۵ درجه نسبت به افق تثبیت می‌شود. پیر هرمان می‌گوید ایده از مشاهده‌ی لانه‌ی موریانه‌ها گرفته شد که با آرایش مشابه آب را به سمت ریشه‌ها هدایت می‌کنند. در کارگاه، هر مثلث با کابل مسی به یکدیگر وصل می‌شد و داده‌های فشار آب و سرعت جریان هر ساعت ثبت می‌شد. تیم ۶ نفره از دانشجویان و کارشناسان محلی هر روز صبح مثلث‌ها را بازرسی می‌کرد و رسوب روی میله‌ها را پاک می‌کرد تا از گرفتگی جلوگیری شود.

نتایج میدانی نشان می‌دهد در بخشی از مسیر به طول ۳۰۰ متر، میزان فرسایش کناره نسبت به سال پایه ۳۱ درصد کاهش یافته و سطح آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهده‌ای ۰.۴ متر بالاتر آمده است. البته گزارش تأکید دارد که این اعداد هنوز آزمایشی‌اند و نمونه‌ی کافی برای تعمیم به کل دشت وجود ندارد. مهندس فرهاد نیک‌پی گفت اگر همین آرایش در ۵ کیلومتر تکرار شود، هزینه‌ی اجرا حدود ۱۸ درصد کمتر از سد کوتاه خواهد بود و نیاز به تخلیه‌ی مخزن و جابه‌جایی روستا وجود ندارد.

با این حال منتقدان هشدار داده‌اند که مثلث‌ها می‌توانند رسوب را در پایین‌دست جمع کنند و مسئله‌ی حقابه‌ی کشاورزان پایین‌دست هنوز حل نشده است. پاسخ تیم این است که قرارداد اجرا شامل پایش ماهانه و جبران خسارت در صورت افت سطح آب چاه‌های روستایی است. مدیر طرح قرار است گزارش نهایی را تا پاییز ۱۴۰۳ تحویل دهد و اگر نتایج تأیید شود، مرحله‌ی دوم با ۲۰۰ مثلث در ۲ کیلومتر آغاز می‌شود. کارگاه همچنین پیشنهاد کرد آموزش نگهداری مثلث‌ها به کشاورزان محلی داده شود تا رسوب‌گیری دستی جایگزین هزینه‌های ماشینی شود.

(صفحه‌ی ۱۲ ادامه‌ی «مثلث VA»)