دانشکده علوم و فناوری‌های راهبردی

گروه مهندسی انرژی

گزارش نهایی پروژه درس مبانی انرژی‌های تجدیدپذیر۲:

طراحی رام هیدرولیکی برای تأمین آب یک پرورش ماهی در نزدیکی سراب کوثر قروه

نام دانشجو:

میــلاد فرمانی

شماره دانشجویی:

۴۰۳۱۰۴۴۰۰۹

استاد درس:

دکتر جعفر جماعتی

نیمسال دوم ۱۴۰۴-۱۴۰۳

فهرست

چکیده ۱

۱ ـ مقدمه ۱

۲ ـ مشخصات پروژه و مبانی طراحی ۱

۱.۲ ـ داده‌های ورودی ۱

۲.۲ ـ اصول عملکرد رام هیدرولیکی ۳

۳ ـ محاسبات استاتیکی و دینامیکی ۴

۱.۳ ـ بخش ورودی(Drive Pipe) ۴

۱.۱.۳ ـ محاسبه جریان و سرعت ۴

۲.۱.۳ ـ محاسبه افت اصطکاکی با فرمول دارسی-ویسباخ ۴

۳.۱.۳ ـ طراحی نازل شتاب‌دهنده ۵

۲.۳ ـ پدیده ضربه آب و تنظیم دینامیکی شیرها ۵

۱.۲.۳ ـ محاسبه پالس ضربه (معادله ژوکوسکی) ۵

۲.۲.۳ ـ تنظیم زمان‌بندی شیر ضربه(Waste Valve) ۶

۳.۲.۳ ـ معادلات مدل‌سازی جریان گذرا(Transient Flow Modeling) ۶

۳.۳ ـ تحلیل سیستم تحویل(Delivery Side) ۷

۱.۳.۳ ـ محاسبه لوله تحویل ۷

۲.۳.۳ ـ شرط مورد نیاز خروجی ۷

۴ ـ روش‌های عددی و نرم‌افزارهای پیشنهادی ۷

۵ ـ تحلیل اقتصادی پروژه ۸

۱.۵ ـ لیست خرید متراژی (Bill of Materials) ۸

۲.۵ ـ برآورد هزینه‌های اولیه ۸

۳.۵ ـ جدول خلاصه هزینه‌ها ۹

۴.۵ ـ تحلیل سودآوری و بازگشت سرمایه(ROI) ۱۰

۶ ـ نتیجه‌گیری ۱۰

چکیده

در این گزارش، سامانه‌ای مبتنی بر رام هیدرولیکی جهت انتقال آب از یک منبع طبیعی (سراب کوثر قروه) به محل پرورش ماهی در نزدیکی سراب طراحی و به طور جامع تحلیل شده است. این سیستم بدون نیاز به انرژی الکتریکی، با بهره‌گیری از انرژی پتانسیل موجود و استفاده از پدیده ضربه آب (water hammer) ناشی از بسته شدن سریع شیر ضربه، جریان خروجی ۱ L/s آب را به ارتفاع ۶ متر بالاتر تأمین می‌کند. در ابتدا مشخصات پروژه و مبانی طراحی شرح داده می‌شود، سپس محاسبات استاتیکی (افت‌های اصطکاکی، سرآهنگ وارد شده) و دینامیکی (پدیده ضربه آب، معادلات شبیه‌سازی‌های گذرا و تنظیم دقیق زمان‌بندی شیرهای متحرک) مورد بررسی قرار می‌گیرند. علاوه بر آن در بخش بعدی یک تحلیل اقتصادی کلی برای پروژه به‌همراه لیست خرید متراژی (Bill of Materials) جهت اجرا آمده است.

کلمات کلیدی :رام هیدرولیکی، ضربه آب، دینامیک جریان، زمان‌بندی شیر، شبیه‌سازی گذرا، تحلیل اقتصادی، سراب کوثر قروه، تأمین آب در بالادست.

۱ ـ مقدمه

رام‌های هیدرولیکی از روش‌های قدیمی و در عین حال کارآمد جهت انتقال آب، به‌ویژه در مناطقی که تأمین انرژی الکتریکی برای پمپاژ مستقل می‌تواند مشکل‌ساز باشد، شناخته شده‌اند. استفاده از این سیستم‌ها در پروژه‌های آبیاری مزارع و باغات اطراف نقش قابل توجهی در تأمین منابع آب با هزینه پایین و نگهداری آسان دارد. در پروژه حاضر، آب از سراب کوثر قروه به محل پرورش ماهی نعمتی که در سمت شمال شرقی سراب قرار دارد، انتقال می‌یابد. این سیستم با استفاده از افت استاتیکی ۲.۵ متر در منبع و دبی ورودی ۵ L/s، از طریق طراحی بهینه رام، جریان خروجی ۱ L/s را با افزایش ارتفاع ۶ متر تأمین می‌کند.

در این گزارش، علاوه بر توضیح اجزای فنی و دینامیکی سیستم، به تنظیم زمان‌بندی دقیق شیرهای واکنشی (شیر ضربه و شیر برگشتی) پرداخته می‌شود. همچنین، از جنبه اقتصادی نیز بررسی و تحلیل ROI با ارائه لیست خرید متراژی برای راه‌اندازی اولیه پروژه صورت می‌گیرد.

۲ ـ مشخصات پروژه و مبانی طراحی

۱.۲ ـ داده‌های ورودی

- **سراب کوثر قروه:**

سراب قروه که با نام سراب کوثر نیز شناخته می‌شود، دریاچه‌ای طبیعی در یک کیلومتری جنوب شهر قروه، در استان کردستان است. آب خنک این دریاچه توسط ۱۲ چشمه که از سطح آب قابل رویت نیستند، تامین می‌شود. از گذشته‌های دور، آب سراب قروه آب آشامیدنی و کشاورزی شهر را تامین کرده است. پرورش ماهی نعمتی در شمال شرقی سراب قرار دارد و باتوجه به میزان فروش روزانه ۱۵ تا ۲۰ کیلوگرم ماهی قزل آلا نیاز به تامین آب ۱ L/s می‌باشد. در حال حاضر با استفاده از الکتروپمپ انتقال آب انجام می شود.

طول جغرافیایی: $L = ۴۷.۷۸^\circ$

عرض جغرافیایی: $\varphi = ۳۵.۱۴^\circ$

شکل ۱ ـ تصویر هوایی سراب کوثر قروه

شکل ۲ ـ تصویر هوایی محل نصب رام و مسیر لوله کشی تا مقصد

- **منبع آب ورودی:**
  - **دبی تأمین:** ۵ L/s تعیین‌شده از داده‌های میدانی و اندازه‌گیری‌های دقیق حجم آبی با استفاده از ابزارهای نقشه‌برداری.
  - **لوله انتقال اولی:** استفاده از لوله‌ای با قطر ۵۰ میلیمتر؛ این انتخاب به دلیل تامین جریان کافی و مقاومت در برابر فشار در محیط‌های آبی طبیعی و همچنین به علت تهیه راحت‌تر برای کارفرما انتخاب شده است.
  - **محل قرارگیری رام هیدرولیکی:** در گوشه شمالی سراب و بعد از مسیر عبوری خودروها
  - **طول لوله ورودی:** ۱۰ متر؛ با توجه به اختلاف افقی تقریبی ۱۰ متر، مسیر انتقال آب از سراب به محل نصب رام، شامل منحنی‌های جزئی و اتصالات می‌شود.
  - **سرآهنگ استاتیکی:** ۲.۵ متر؛ این مقدار از ارتفاع منبع تا نقطه نصب رام به عنوان سرآهنگ اولیه در نظر گرفته شده است.
- **سیستم تحویل – محل پرورش ماهی:**
  - **فاصله از محل نصب رام تا محل پرورش ماهی:** ۸۵ متر؛ مسیر انتقال آب با لوله‌کشی مناسب از محل نصب رام به محل پرورش ماهی.
  - **ارتفاع تحویل نسبت به محل نصب رام:** ۶ متر، آب باید به این ارتفاع منتقل شود تا شرایط ایده‌آل برای پرورش ماهی فراهم گردد.
  - **هدف نهایی:** تأمین جریان خروجی ۱ L/s جهت تأمین نیاز آب مناسب در محل پرورش ماهی.

توضیح تکمیلی: تعیین دقیق این پارامترها بر اساس داده‌های میدانی و استفاده از سیستم‌های اندازه‌گیری الکترونیکی، اعتبار طراحی را بالا می‌برد. همچنین استفاده از داده های نقشه برداری جهت جانمایی صحیح رام باعث بالا رفتن دقت اجرای پروژه می‌شود.

۲.۲ ـ اصول عملکرد رام هیدرولیکی

عملکرد رام هیدرولیکی به اصل تبدیل انرژی پتانسیل آب به انرژی ضربه‌ای از طریق بسته شدن سریع شیر ضربه (Waste Valve) است. در این سیستم:

- آب از طریق لوله ورودی با افت استاتیکی ۲.۵ متری وارد دستگاه رام می‌شود.
- با استفاده از یک نازل شتاب‌دهنده، سرعت آب به حد مطلوب تقریباً ۶ m/s افزایش می‌یابد.
- در لحظه بسته‌شدن ناگهانی شیر ضربه، پالس ضربه‌ای (water hammer) ایجاد شده که طبق معادله ژوکوسکی موجب افزایش فشار می‌شود.
- این پالس فشار توسط اتاقک ضربه (Impulse Chamber) تعدیل شده و ذخیره می‌شود تا در لحظه مناسب از طریق شیر برگشتی به لوله تحویل هدایت گردد.
- نتیجه نهایی، تأمین جریان خروجی ۱ L/s آب به مقصد تحویل آب می‌باشد.

۳ ـ محاسبات استاتیکی و دینامیکی

۱.۳ ـ بخش ورودی (Drive Pipe)

۱.۱.۳ ـ محاسبه جریان و سرعت

برای لوله با قطر 50 mm ($D = 0.05\,m$):

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi \times (0.05)^2}{4} \approx 0.00196\,m^2$$

سرعت متوسط جریان:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0.005\,m^3/s}{0.00196\,m^2} \approx 2.55\,m/s$$

(این محاسبه مطابق مباحث موجود در کتاب‌های Çengel & Cimbala است.)

۲.۱.۳ ـ محاسبه افت اصطکاکی با فرمول دارسی–ویسباخ

برای محاسبه افت اصطکاکی از فرمول زیر استفاده می‌کنیم:

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

با فرض:

- $f = 0.02$
- $L = 10\,m$
- $g = 9.81\,m/s^2$

ابتدا:

$$\frac{L}{D} = \frac{10}{0.05} = 200$$

و:

$$\frac{v^2}{2g} = \frac{(2.55)^2}{2 \times 9.81} \approx 0.3317\,m$$

بنابراین:

$$h_f \approx 0.02 \times 200 \times 0.3317 \approx 1.33\,m$$

سرآهنگ مؤثر وارد سیستم رام:

$$h_{\text{net}} = 2.5 - 1.33 \approx 1.17\,m$$

توضیح تکمیلی: این محاسبه نشان می‌دهد که پس از اتلاف ناشی از اصطکاک، حدود ۱.۱۷ متر انرژی پتانسیلی برای تولید پالس ضربه‌ای در دسترس است. این بخش اهمیت تحلیل دقیق افت‌ها را بر عملکرد نهایی سیستم نشان می‌دهد. در صورت نیاز، امکان بهبود به واسطه کاهش ضریب اصطکاک از طریق استفاده از لوله‌های با سطح داخلی بالا و پوشش‌های ضد اصطکاک فراهم است.

۳.۱.۳ ـ طراحی نازل شتاب‌دهنده

جهت افزایش سرعت آب به حدود $6\ \mathrm{m/s}$ جهت ایجاد پالس ضربه‌ای قوی، لازم است که نازل شتاب‌دهنده طراحی شود:

$$A_{\mathrm{noz}} = \frac{Q}{v_{\mathrm{noz}}} = \frac{0.005}{6} \approx 8.33 \times 10^{-4}\, m^2$$

و قطر نازل:

$$d_{\mathrm{noz}} = \sqrt{\frac{4A_{\mathrm{noz}}}{\pi}} \approx 0.0325\, m \quad (32.5\, mm)$$

توضیح تکمیلی: طراحی نازل شتاب‌دهنده به گونه‌ای انجام می‌شود که بتواند تغییرات ناگهانی سرعت را ثبت و انتقال یابد. استفاده از CFD برای بهینه‌سازی هندسه نازل و بررسی تغییرات فشار در آن توصیه می‌شود.

۲.۳ ـ پدیده ضربه آب و تنظیم دینامیکی شیرها

۱.۲.۳ ـ محاسبه پالس ضربه (معادله ژوکوسکی)

با استفاده از:

$$\Delta P = \rho\, c\, \Delta v$$

که در آن:

- $\rho = 1000\, kg/m^3$
- $c \approx 1400\, m/s$
- $\Delta v \approx 6\, m/s$

داریم:

$$\Delta P \approx 1000 \times 1400 \times 6 = 8.4 \times 10^6\, Pa$$

توضیح تکمیلی: این مقدار تئوری نشان می‌دهد که در حالت ایده‌آل فشار ایجاد شده بسیار بالا است؛ اما به دلیل اتلافات و تعدیل‌های دینامیکی در اتاقک ضربه، تنها درصدی از این انرژی کاربردی می‌شود. آزمایش‌های تجربی و شبیه‌سازی‌های عددی برای تعیین دقیق نرخ تبدیل توصیه می‌شود.

۲.۲.۳ ـ تنظیم زمان‌بندی شیر ضربه (Waste Valve)

- **زمان بسته‌شدن ایده‌آل:** بین ۵۰-۱۰۰ ms و عدد بهینه نزدیک به ۷۰ ms است. که در این حالت پالس فشار مطلوب جهت فعال‌سازی سریع شیر برگشتی ایجاد می‌شود.
- **اهمیت زمان‌بندی:** تنظیم دقیق زمان‌بندی شیر ضربه به گونه‌ای که پالس به درستی تولید و به بخش اتاقک ضربه و سپس به طرف شیر برگشتی انتقال یابد، عامل کلیدی در بهبود بهره‌وری سیستم است. نوسانات ناشی از تأخیرهای زمانی می‌تواند منجر به کاهش تبدیل انرژی یا آسیب مکانیکی گردد.

توضیح تکمیلی: استفاده از سیستم‌های مکانیکی با کنترل الکترونیکی مثلاً استفاده از کنترل‌کننده‌های PID برای تنظیم دقیق زمان‌بندی پیشنهاد می‌شود. همچنین، ثبت دقیق داده‌های فشار و جریان با سنسورهای مدرن به منظور اصلاح به موقع تنظیمات مفید است.

۳.۲.۳ ـ معادلات مدل‌سازی جریان گذرا (Transient Flow Modeling)

معادلات زیر برای مدل‌سازی دقیق جریان‌های گذرا به کار می‌روند:

- **معادله پیوستگی:**

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial (Av)}{\partial x} = 0$$

- **معادله حرکت:**

$$\frac{\partial v}{\partial t} + v\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial x} + f\frac{v|v|}{2D} = 0$$

توضیح تکمیلی: حل‌های عددی این معادلات (با استفاده از روش‌های تفاضل محدود یا المان محدود) با استفاده از گام‌های زمانی کوچک (10^{-3} تا 10^{-4} ثانیه) تصویر دقیقی از پالس ضربه‌ای و رفتار گذرا سیستم به دست می‌دهد. این شبیه‌سازی‌ها برای تعیین بهینه‌ترین تنظیمات زمانی و هندسی مفید هستند.

۳.۳ ـ تحلیل سیستم تحویل (Delivery Side)

۱.۳.۳ ـ محاسبه لوله تحویل

برای لوله با قطر ۴۰ میلیمتر و طول ۸۵ متر:

$$A_{\text{del}} = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi \times (0.04)^2}{4} \approx 0.0012566\, m^2$$

با توجه به جریان خروجی مورد نظر $Q_{\text{del}} = 0.001\, m^3/s$:

$$v_{\text{del}} = \frac{0.001}{0.0012566} \approx 0.80\, m/s$$

محاسبه افت اصطکاکی:

- نسبت $\frac{L}{D} = \frac{85}{0.04} \approx 212.5$.
- با استفاده از:

$$\frac{v_{\text{del}}^2}{2g} \approx \frac{(0.80)^2}{2 \times 9.81} \approx 0.0326\, m$$

سپس:

$$h_{f,\text{del}} \approx 0.02 \times 212.5 \times 0.0326 \approx 0.1386\, m \quad (\approx 0.14\, m)$$

مجموع افت کل می‌شود (m تقریباً 0.2) با احتساب اتصالات و خمیدگی‌های اضافی:

$$h_{f,\text{tot}} \approx 0.14 + 0.2 \approx 0.34\, m$$

۲.۳.۳ ـ شرط مورد نیاز خروجی

$$6\, m + 0.34\, m = 6.34\, m$$

برای تأمین آب به ارتفاع ۶ m در مقصد، سیستم باید بتواند فشار معادل حدود ۶.۳۴ m آب ایجاد کند. این شرط توسط انرژی پالس ضربه‌ای ایجاد شده در بخش رام و با تنظیم دقیق شیرهای واکنشی تأمین می‌شود.

توضیح تکمیلی: نکته مهم در این بخش، به حداقل رساندن اتلافات ناشی از اتصالات و خمیدگی‌های لوله است. استفاده از فیتینگ‌های بهینه و لوله‌های با داخل صاف می‌تواند افت را کاهش دهد و بهره‌وری کلی سیستم را افزایش دهد.

۴ ـ روش‌های عددی و نرم‌افزارهای پیشنهادی

- **نرم‌افزارهای CFD**: مانند ANSYS Fluent ، OpenFOAM و COMSOL Multiphysics جهت شبیه‌سازی گذرا.
- **روش‌های FSI**: جهت مدلسازی تعامل بین جریان سیال و اجزای متحرک (مشخصاً شیر ضربه و شیر برگشتی).
- **تقسیم‌بندی شبکه:** به گره‌های زمانی با گام‌های ($۱۰^{-۳}$ تا $۱۰^{-۴}$) ثانیه جهت ثبت دقیق تغییرات فشار، سرعت و پالس‌های ضربه‌ای.

توضیح تکمیلی: این روش‌ها به تولید نمودارهای فشار، سرعت و تغییرات زمان‌بندی در نقاط کلیدی سیستم کمک کرده و داده‌های لازم جهت بهینه‌سازی طراحی فراهم می‌آورند.

۵ ـ تحلیل اقتصادی پروژه

۱.۵ ـ لیست خرید متراژی (Bill of Materials)

در زیر لیست خرید متراژی به صورت جدول ارائه شده است:

لیست خرید متراژی(Bill of Materials)		
بخش ورودی (Drive Side)	لوله انتقال آب	نوع: HDPE یا فولاد مقاوم با کیفیت صنعتی (انتخاب به دلیل مقاومت بالا و کاهش اکسیداسیون) قطر: ۵۰ mm طول: ۱۰ m
	نازل شتاب‌دهنده	جنس: استیل ضد زنگ یا آلیاژ مقاوم در برابر خوردگی ـ مشخصات: طراحی جهت کاهش قطر از ۵۰ mm به حدود ۳۲ mm (طول تقریبی: ۳۰۰–۵۰۰ mm) با هدف افزایش سرعت و تولید پالس ضربه‌ای مؤثر
بخش رام (Ram Unit)	اتاقک ضربه (Impulse Chamber)	ظرفیت: ۵–۷ L ــ جنس: استیل گالوانیزه یا پلی‌اتیلن پرچگال با مقاومت بالا در برابر فشار
	شیر ضربه (Waste Valve)	جنس: چدن داکتل یا استیل ـ طراحی جهت بسته شدن سریع در ۵۰–۱۰۰ ms
	شیر برگشتی (Delivery Check Valve)	مشخصات: حساس به فشار پایین؛ تنظیم‌شده برای باز شدن در حدود ۶.۴ m آب
بخش تحویل (Delivery Side)	لوله تحویل	نوع: لوله PVC یا HDPE با کیفیت بالا (انتخاب به دلیل مقاومت در برابر فشار و خوردگی) قطر: ۴۰ mm طول: ۸۵ m
	اتصالات و سنسورها و تجهیزات پایش	فیتینگ‌ها، اتصالات، فشارسنج، فلومتر و سیستم ثبت دیتا برای نظارت مداوم بر عملکرد سیستم

توضیحات تکمیلی: همچنین پیشنهاد می‌شود به عنوان بخشی از سیستم نظارتی، از سیستم‌های اتوماسیون جهت ثبت و مانیتورینگ بلادرنگ بهره گرفته شود تا هرگونه نوسان یا تغییرات در عملکرد سریعاً شناسایی و اصلاح شوند.

۲.۵ ـ برآورد هزینه‌های اولیه

با توجه به طراحی و تجهیزات انتخابی، برآورد هزینه‌های اولیه طبق فهرست بهای ۱۴۰۴ و قیمت بازاری اجناس محاسبه می‌شود که شامل موارد زیر است:

۱. **بخش ورودی (Drive Side):**

- **لوله انتقال:** لوله فولادی گالوانیزه ۵۰ به ازای هر متر طول ۷۸۱،۵۰۰ تومان است جمع هزینه ۱۰ متر ۷،۸۱۵،۰۰۰ تومان.
- **نازل شتاب‌دهنده:** ساخت و نصب جهت کاهش قطر از ۵۰ mm به حدود ۳۲ mm ؛ تقریباً ۴۰۰،۰۰۰ تومان.

۲. **بخش رام (Ram Unit)**:

- **اتاقک ضربه (Impulse Chamber) ، ظرفیت ۷ L–۵** : ۸۰۰،۰۰۰ تا ۱،۲۰۰،۰۰۰ تومان.
- **شیر ضربه(Waste Valve)** : بسته به طراحی دقیق و جنس (چدن داکتل یا استیل)، ۴،۰۰۰،۰۰۰ تا ۴،۶۰۰،۰۰۰ تومان.
- **شیر برگشتی(Delivery Check Valve)** : جنس چدن، قیمت حدود ۳،۴۰۰،۰۰۰ تا ۳،۸۰۰،۰۰۰ تومان.

۳. **بخش تحویل(Delivery Side)** :

- **لوله تحویل ۸۵ متر با قطر ۴۰ میلیمتر:** هزینه ۵۰،۰۰۰ تا ۶۰،۰۰۰ تومان به ازای هر متر؛ در مجموع ۴،۲۵۰،۰۰۰ تا ۵،۱۰۰،۰۰۰ تومان.
- **اتصالات، فیتینگ‌ها و تجهیزات سنسور:** حدود ۳،۰۰۰،۰۰۰ تا ۳،۳۰۰،۰۰۰ تومان.

۳.۵ ـ جدول خلاصه هزینه‌ها

		هزینه تقریبی (تومان)	توضیحات
بخش ورودی (Drive Side)	لوله انتقال آب	۷،۸۱۵،۰۰۰	استفاده از HDPE یا فولاد ضدزنگ قطر: ۵۰mm طول: ۱۰m
	نازل شتاب‌دهنده	۴۰۰،۰۰۰	کاهش قطر از ۵۰mm به حدود ۳۲mm
بخش رام (Ram Unit)	اتاقک ضربه (Impulse Chamber)	۸۰۰،۰۰۰ تا ۱،۲۰۰،۰۰۰	ظرفیت: ۵–۷L
	شیر ضربه (Waste Valve)	۴،۰۰۰،۰۰۰ تا ۴،۶۰۰،۰۰۰	جهت بسته شدن سریع در ۵۰–۱۰۰ms
	شیر برگشتی (Delivery Check Valve)	۳،۴۰۰،۰۰۰ تا ۳،۸۰۰،۰۰۰	برای باز شدن در حدود ۶.۴m آب
بخش تحویل (Side Delivery)	لوله تحویل	۴،۲۵۰،۰۰۰ تا ۵،۱۰۰،۰۰۰	نوع: لوله PVC یا HDPE با کیفیت بالا قطر: ۴۰mm طول: ۸۵m
	اتصالات و سنسورها و تجهیزات پایش	۳،۰۰۰،۰۰۰ تا ۳،۳۰۰،۰۰۰	اتصالات، فیتینگ‌ها و سنسورهای نظارتی شامل فشارسنج، فلومتر و سیستم ثبت دیتا
اجرای پروژه	عوامل اجرا	۵،۰۰۰،۰۰۰ تا ۶،۰۰۰،۰۰۰	دستمزد عوامل اجرا
جمع کل هزینه‌ها		**۲۸،۶۶۵،۰۰۰ تا ۳۲،۲۱۵،۰۰۰**	**تومان**

۴.۵ ـ تحلیل سودآوری و بازگشت سرمایه (ROI)

- **حجم آب تأمین‌شده:** تأمین روزانه ۳۶۰۰ لیتر (با جریان ۱ L/s) سالانه حدود ۱.۳ میلیون لیتر آب.
- **صرفه‌جویی‌های عملیاتی:** استفاده از سیستم بدون مصرف انرژی الکتریکی و نگهداری پایین منجر به کاهش سالانه هزینه‌ها به حدود ۲۰-۳۰٪ از هزینه اولیه می‌شود.
- **دوره بازگشت سرمایه:** بر اساس تحلیلی که در مقایسه با هزینه‌های اولیه و صرفه‌جویی‌های عملیاتی صورت گرفته است، دوره بازگشت سرمایه (ROI) در حدود ۳ تا ۴ سال برآورد می‌شود.

۶ ـ نتیجه‌گیری

این مطالعه نشان می‌دهد که با طراحی دقیق استاتیکی و دینامیکی، بهینه‌سازی زمان‌بندی شیرهای واکنشی و کاهش اتلافات ناشی از مسیرهای انتقال آب، می‌توان بدون مصرف انرژی الکتریکی جریان ۱ L/s آب را از سراب کوثر قروه (با دبی ۵ L/s و سرآهنگ ۲.۵ m) به ارتفاع ۶ m در محل پرورش ماهی نعمتی انتقال داد. یعنی بازدهی سیستم ۲۰٪ می باشد. تحلیل اقتصادی ارائه شده نیز نشان می‌دهد که با سرمایه‌گذاری اولیه در حدود ۲۸،۶۶۵،۰۰۰ تا ۳۲،۲۱۵،۰۰۰ تومان و صرفه‌جویی‌های عملیاتی حاصل از کاربرد سیستم‌های بدون مصرف انرژی الکتریکی، دوره بازگشت سرمایه در حدود ۳ تا ۴ سال امکان‌پذیر است.