

Investigating the effectiveness of using infrared non-contact sensor in water level monitoring

Mohammadreza Kousari^{1*}, Forood Sharifi² and Alireza Majidi³

¹ Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

² Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

³ Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Received: 25 December 2023

Accepted: 08 June 2024

Extended abstract

Introduction

In the context of climate change and global warming, the comprehensive management and productivity of water resources become increasingly important. Accurate measurement of existing water resources forms a critical foundation for effective water resource management. Precise measurements enable better and more fundamental planning. Surface water, particularly flood-generated water in large and small watersheds, plays a significant role in Iran's water resources. A major challenge in the country's water resource management is the lack of sufficient runoff data, especially for smaller watersheds. The use of hydrometric devices for stable water level measurements can substantially address this issue, improving the collection of surface and groundwater data. Several methods have been developed for water level measurement, which can be categorized as contact or non-contact methods, depending on whether the sensor interacts directly with the water. These methods may record data either automatically or manually. Selecting the appropriate method depends on specific conditions, such as the range of liquid level changes, the physical properties of the liquid (e.g., density, cleanliness, vapor or particle content, corrosiveness), process temperature and pressure, chemical composition, and environmental factors like moisture.

Materials and methods

Non-contact methods offer significant advantages, including independence from fluid type and non-interaction with the fluid itself. Among these methods are image processing using cameras, ultrasonic sensors, infrared sensors, and laser-based techniques. This research investigates the efficiency of the Sharp infrared module model GP2Y0A02YK0F in measuring water level changes in both laboratory and natural environments. The module includes a distance measurement sensor consisting of a Position Sensitive Detector (PSD), Infrared Emitting Diode (IRED), and a signal processing circuit. It operates within a voltage range of 4.5 to 5 volts and a temperature range of -10 to +60 °C. The analog output of this module corresponds to the measured distance, producing values between 0 and 1023. When an object moves closer to the sensor, the output approaches 0, and as the object moves farther away, the output increases toward 1023. Data calibration is required to relate sensor readings to actual values. The sensor's measurement range is 20–150 cm, utilizing infrared light for distance detection. To evaluate its performance, a low-power data logger suitable for watershed environments was employed. Since the method requires a non-reflective surface, it was combined with a traditional float-based method. The mechanical setup includes a polyethylene tube housing the sensor, enclosed within a metal body to resist flood conditions. Laboratory experiments involved measuring water level changes across 10 stages, where sensor data (independent variable) and actual water level values (dependent variable) were collected. Polynomial fitting (first to fourth degree) was applied to establish relationships between variables. Additionally, 30% of the data was reserved for model validation.

Results and discussion

An inverse relationship between sensor readings and actual distances was evident: sensor output values decreased as distance increased. The correlation coefficients (R) for one- to four-term polynomial fits were close to one, indicating a strong alignment between sensor data and actual measurements. The RMSE ranged from 2.16 to 1.89 cm, improving with higher-degree polynomials. In laboratory conditions, the

* Corresponding author: Mohammad_kousari@yahoo.com

sensor estimated water level changes with a 2 cm error, which was reduced to 1.34 cm by increasing the minimum measurement range to 30 cm. Given its affordability, this sensor is suitable for applications where high precision is unnecessary. For higher accuracy, alternative sensors should be considered. However, in flood environments, issues such as the obstruction and adhesion of floating materials in the tube pose challenges, making this method unsuitable for flood channel measurements. Incorporating additional sensors, such as pressure or ultrasonic sensors, could enhance the device's capabilities.

Conclusions

Various methods have been developed for measuring water level changes. The selection of a method depends on environmental conditions, accuracy requirements, and cost considerations. Given the lack of extensive water level and flow measurement networks in Iran's watersheds, the approach proposed in this research can significantly contribute to water resource management. However, the reliance on floating components within the tube is a critical limitation, as flood-induced sediment can hinder float movement over time. Future research should focus on methods that eliminate the need for floating parts, thereby overcoming these limitations. Additionally, the results of other measurement techniques will be explored in subsequent studies.

Keywords: Data logger, Flood, Sensor, Ultrasonic, Water level measurement

Cite this article: Kousari, M., Sharifi, F., Majidi, A., 2025. Investigating the effectiveness of using infrared non-contact sensor in water level monitoring. *Watershed Engineering and Management* 16(4), 537-549.

© 2025, The Author(s). Published by Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI). This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>)



بررسی کارایی استفاده از حسگر غیر تماسی مادون قرمز در اندازه‌گیری تغییرات سطح آب

محمد رضا کوثری^{۱*}، فرود شریفی^۲ و علیرضا مجیدی^۳

^۱ استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

^۲ استاد، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

^۳ استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۱۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۰۴

چکیده مبسوط

مقدمه

در شرایط تغییر اقلیم و گرمایش جهانی، مدیریت جامع منابع آب و بهره‌وری آن اهمیتی چندین برابر می‌یابد و در این میان اندازه‌گیری منابع آب موجود یکی از پایه‌های اساسی مدیریت منابع آب را تشکیل می‌دهد. اندازه‌گیری هرچه دقیق تر منابع آب موجود، شرایط برنامه‌ریزی بهتر و اساسی را فراهم می‌آورد. آب‌های سطحی خصوصاً منابع آب ناشی از سیلاب‌ها و آورد حوزه‌های آبخیز بزرگ و کوچک، نقش قابل توجهی در چرخه آب ایران بازی می‌کنند. یکی از مشکلات اصلی مدیریت منابع آب در سطح کشور، نبود آمار کافی دبی خروجی از حوزه‌های آبخیز کشور خصوصاً حوضه‌های کوچک است. در این میان، استفاده از دستگاه‌های هیدرومتری ثبات و سطح سنجی آب می‌تواند به‌طور قابل توجهی مشکلات جمع‌آوری اطلاعات منابع آب سطحی و زیرزمینی را کاهش دهد. روش‌های متعددی برای اندازه‌گیری سطح آب منظور توسعه یافته‌اند که می‌توان در کل آنها را به دو روش تماسی و غیر تماسی (بسته به قرارگیری حسگر در تماس مستقیم با آب یا خارج از آب) تقسیم‌بندی نمود که هر کدام از آنها می‌توانند به‌صورت خودکار یا دستی ثبت شوند. انتخاب روش مناسب بستگی به شرایط موجود دارد. برای انتخاب دستگاه سطح‌سنج آب باید مواردی مانند محدوده تغییرات ارتفاع سطح مایع، ویژگی‌های فیزیکی سیال مانند چگالی، تمیز یا کثیف بودن سیال، میزان بخارات یا ذرات جامد موجود در سیال، خوردگی سیال، تمایل سیال به رسوب‌دهی بر روی دیواره ظرف یا وسیله اندازه‌گیری، دما و فشار فرایند، ترکیب شیمیایی سیال، قوانین زیست محیطی و وجود رطوبت، در نظر گرفته شود.

مواد و روش‌ها

مهم‌ترین مزایای روش‌های غیر تماسی عدم وابستگی زیاد به نوع سیال و عدم درگیر شدن حسگر با سیال است. از جمله روش‌های غیر تماسی می‌توان به استفاده از عکس‌برداری به‌وسیله دوربین، حسگر آلتراسونیک و همچنین حسگر مادون قرمز و روش لیزری اشاره نمود. در این پژوهش، کارایی یک ماژول مادون قرمز شارپ مدل GP2Y0A02YK0F در اندازه‌گیری تغییرات سطح آب در محیط آزمایشگاه و محیط طبیعی مورد بررسی قرار گرفته است. این ماژول دارای یک حسگر اندازه‌گیری فاصله شامل مجموعه‌ای یکپارچه از آشکارساز حساس به موقعیت (Position Sensitive Detector, PSD)، دیود مادون قرمز (Infrared Emitting Diode, IRED) و مدار پردازش سیگنال است. محدوده ولتاژ کاری این مجموعه ۴/۵ تا ۵ ولت است. محدوده دمایی عملکرد ماژول بین ۱۰- تا ۶۰+ درجه سانتی‌گراد است. خروجی این ماژول

* مسئول مکاتبات: Mohammad_kousari@yahoo.com

به صورت آنالوگ بوده و ولتاژی متناظر با فاصله اندازه‌گیری شده شامل اعداد در محدوده صفر تا ۱۰۲۳ است. در صورتی که جسم به مازول نزدیک شود، خروجی به سمت صفر و در حالتی که جسم از آن فاصله بگیرد اعداد خروجی به سمت ۱۰۲۳ میل می‌کند. لذا، نیاز به واسنجی داده‌ها و برقراری ارتباط بین داده‌های حسگر و مقادیر واقعی وجود دارد. محدوده اندازه‌گیری این سنسور بین ۲۰ تا ۱۵۰ سانتی‌متر است و از نور مادون قرمز برای تشخیص فاصله استفاده می‌کند. برای بررسی قابلیت‌های حسگر در آزمایشگاه و محیط طبیعی، دیتالاگر فوق کم مصرف ساخت داخل کشور که توانایی کار در محیط حوزه‌های آبخیز را داشته باشد مورد استفاده قرار گرفت. البته به علت نیاز به یک سطح غیرقابل عبور جاذب نور، این روش با روش قدیمی استفاده از شناورها بر روی سطح آب ترکیب شد. بعد از اتصال حسگر به دیتالاگر، بدنه مکانیکی دستگاه نیز ساخته شد که شامل یک لوله پلی‌اتیلن است که سنسور در بالای آن قرار گرفته و این مجموعه در داخل یک بدنه فلزی (بدنه مقاوم در برابر سیلاب‌ها و رواناب‌ها) دیگر قرار داده می‌شود. تغییرات سطح آب با استفاده از شناور موجود در لوله و توسط حسگر برداشت می‌شود. این مجموعه ابتدا در آزمایشگاه مورد استفاده و بررسی قرار گرفت. آزمایش اندازه‌گیری سطح تغییرات سطح آب در ۱۰ مرحله انجام شد و در هر مرحله تغییرات سطح آب و داده‌های حاصل از حسگر برداشت شد. سپس داده‌های برداشت شده حاصل از حسگر به‌عنوان متغیر مستقل و مقادیر واقعی آب به‌عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد و با برازش چند جمله‌ای‌ها (از درجه یک تا چهار) معادلات ارتباط بین متغیر مستقل و وابسته تعیین شد. همچنین ۳۰ درصد از داده‌های برداشت شده نیز برای ارزیابی نهایی رابطه‌های ارائه شده در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

ارتباط معکوس بین داده‌های حسگر و فاصله واقعی کاملاً مشهود است و با افزایش فاصله مقادیر خروجی حسگر کاهش می‌یابد. مقادیر ضریب همبستگی R در رابطه با برازش‌های یک تا چهارجمله‌ای، نزدیک به یک است که نشان‌دهنده همبستگی بالای داده‌های حسگر با مقادیر واقعی تغییرات ارتفاع آب است. همچنین، میزان شاخص RMSE نیز بین ۲/۱۶ تا ۱/۸۹ سانتی‌متر متغیر است. در کل با افزایش درجه چندجمله‌ای، این انطباق بیشتر نیز می‌شود و شاخص RMSE نیز کاهش می‌یابد. نتایج نشان‌دهنده آن است که سنسور مذکور در محیط آزمایشگاه با خطای دو سانتی‌متر تغییرات سطح آب را تخمین می‌زند. البته با افزایش دامنه حداقل محدوده اندازه‌گیری سنسور از ۲۰ به ۳۰ سانتی‌متر، خطای اندازه‌گیری‌ها به ۱/۳۴ سانتی‌متر کاهش می‌یابد. با توجه به قیمت ارزان سنسور، در مواردی که نیازی به دقت بالای اندازه‌گیری‌ها نیست، این سنسور و روش مناسب است. در صورت نیاز به افزایش دقت، باید حسگرهای دیگر جایگزین شوند. باید در نظر داشت که در هنگام استفاده در محیط‌های سیلابی، با مشکلات متعددی از جمله توقف جنس شناور در داخل لوله اندازه‌گیری سطح آب همراه است. لذا، برای اندازه‌گیری سطح آب در داخل آبراهه‌های سیلابی توصیه نمی‌شود و برای افزایش قابلیت این دستگاه، استفاده از سایر حسگرها مانند حسگرهای فشاری یا التراسونیک، می‌تواند مورد توجه قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

تا به حال روش‌های بسیار زیادی برای اندازه‌گیری تغییرات سطح آب توسعه یافته‌اند، اما آنچه در انتخاب نهایی نوع روش و دستگاه مورد استفاده تاثیرگذار، هدف است. به عبارتی بهتر، متناسب با شرایط محیطی، دقت مورد انتظار و هزینه، نوع دستگاه و حسگر انتخاب می‌شود. تا به حال، عملکرد سنسورهای ارزان قیمت GP2Y0A02YK0F در اندازه‌گیری سطح آب گزارش نشده است که در این پژوهش این مهم انجام شد. پژوهش‌های مشابه بیشتر تمرکز بر استفاده از سایر سنسورها خصوصاً سنسورهای فشار یا التراسونیک داشته و البته دیتالاگرها و در کل دستگاه‌های ارائه شده محدودیت تأمین امنیت دارند. با توجه به شرایط فعلی حوزه‌های آبخیز کشور و عدم وجود شبکه‌های گسترده اندازه‌گیری سطح آب و دبی، رویکرد کلی ارائه شده در این پژوهش می‌تواند، بسیار مؤثر باشد. البته استفاده از شناورها در لوله و بحث نفوذ سیل به لوله یک محدودیت اساسی است و رویکردی بایستی در نظر گرفته شود که استفاده از قطعه شناور را در لوله حذف نماید. چراکه

گل آلودگی حاصل از سیل می‌تواند حرکت جسم شناور بر سطح آب را تحت تأثیر قرار دهد و بعد از مدتی از حرکت صحیح و متناسب با سطح آب جسم شناور جلوگیری نماید. در تحقیقات آتی نتایج حاصل از سایر روش‌های اندازه‌گیری مورد استفاده ارائه خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: التراسونیک، دیتالاگر، سطح سنجی، سیل، مادون قرمز

مقدمه

آب‌های سطحی خصوصاً منابع آب ناشی از سیلاب‌ها و آورد حوزه‌های آبخیز بزرگ و کوچک، نقش قابل توجهی در چرخه آب ایران بازی می‌کنند. اندازه‌گیری دقیق این منابع می‌تواند کمک بسیار زیادی به اجرای مدیریت جامع منابع آب در کشور نماید. البته به‌رغم تلاش‌های انجام شده، هنوز در زمینه اندازه‌گیری‌های دقیق و جمع‌آوری اطلاعات مناسب، محدودیت‌های اساسی در کشور وجود دارد.

در این رابطه اندازه‌گیری تغییرات سطح آب به‌عنوان پارامتری مهم و تأثیرگذار می‌تواند نقش مهمی در جمع‌آوری اطلاعات داشته باشد. حجم آبرسانی، تخلیه سیل، رسوب و میزان انتقال مواد مغذی معمولاً بر اساس اندازه‌گیری سطح آب محاسبه می‌شود (Ridolfi and Manciola, 2018). مدیریت منابع آب و مدیریت سیلاب‌ها نیاز به اندازه‌گیری پارامترهای کلیدی نظیر سرعت، دبی و عمق سیلاب است (Nair and Rao, 2016) و قرائت اشل یکی از رایج‌ترین روش‌های اندازه‌گیری سطح آب است (Zhang et al., 2019). در حال اندازه‌گیری حاضر اندازه‌گیری منابع آب سطحی در کشور هم بیشتر بر مبنای استفاده از تعیین رابطه دبی-اشل و قرائت دستی آن‌ها است. باید در نظر داشت که مهمترین مشکلات این روش علاوه بر محدودیت درجه اطمینان به داده‌های برداشت شده، پیوستگی برداشت آن نیز است.

در شرایط بارش و سیلاب، نوسانات سطح آب شدت می‌یابد و لذا داده‌برداری مداوم برای ثبت این تغییرات ضروری است (Nair and Rao, 2016). البته دستگاه‌های خودکار ثبات برداشت اطلاعات سطح و سرعت آب نیز، نصب و مورد استفاده قرار گرفته‌اند که بیشتر در انتهای حوزه‌های آبخیز بزرگ قرار دارند و لذا، تحلیل برآورد منابع آب از سطح حوزه‌های آبخیز کوچک و متوسط را با محدودیت روبرو می‌سازند. از طرف دیگر، بخش قابل

توجهی از دستگاه‌های ثابت، ساخت کشورهای خارجی بوده و تأمین دستگاه‌ها، قطعات و خدمات پس از فروش آنها در کشور با مشکلات زیادی روبرو است. همه این موارد، توسعه و ساخت دستگاه‌های خودکار برداشت تغییرات سطح آب در کشور را ایجاب می‌نماید.

تا به حال روش‌های نسبتاً زیادی برای اندازه‌گیری سطح سیالات توسعه یافته که به دو روش اصلی تماسی و غیرتماسی قابل تقسیم‌بندی هستند (Nair and Rao, 2016) که هر کدام از آنها می‌توانند به‌صورت خودکار یا دستی اطلاعات را ثبت نمایند. انتخاب روش مناسب بستگی به شرایط موجود دارد. برای انتخاب دستگاه سطح‌سنج آب باید مواردی مانند محدوده تغییرات ارتفاع سطح مایع، ویژگی‌های فیزیکی سیال مانند چگالی، تمیز یا کثیف بودن سیال، میزان بخارات یا ذرات جامد موجود در سیال، خوردگی سیال، تمایل سیال به رسوب‌دهی بر روی دیواره ظرف یا وسیله اندازه‌گیری، دما و فشار فرایند، ترکیب شیمیایی سیال، قوانین زیست محیطی و وجود رطوبت، در نظر گرفته شود.

البته استفاده از دستگاه‌های سطح‌سنج خودکار همواره با محدودیت‌هایی نظیر هزینه‌های سنگین نصب و راه‌اندازی، حساسیت به تغییرات دما، رسوب‌گیری دستگاه‌ها و هزینه‌های نگهداری همراه است (Nair and Zhang et al., Tsai and Yen, 2012, Rao, 2016, 2019).

در رابطه با مزایای روش‌های تماسی مانند استفاده از حسگر فشار، جسم شناور، حسگر تعینی جرم و وزن آب (لود سل) و نوع استفاده از ظرفیت خازنی، امکان اندازه‌گیری در مخازن تحت شرایط سرریز شدن و امکان اندازه‌گیری تحت شرایط وجود کف و بخار در سطح آب است. همچنین، امکان اندازه‌گیری در اعماق بسیار زیاد (در رابطه با حسگر فشار و یا استفاده از لودسل) وجود دارد. البته به علت در تماس بودن حسگرها با آب،

می‌دهد. (Assendelft and van Meerveld, 2019) روش ارزان قیمت اندازه‌گیری سطح آب در آبراهه‌ها با استفاده از سنسورهای مقاومت الکترونیکی را توسعه دادند. نتایج نشان دهنده عملکرد مناسب این سنسور است. همچنین عملکرد دستگاه‌های ارزان قیمت با استفاده از سنسور الکترونیکی نیز گزارش شده است (Guaman et al., 2018, Andang et al., 2019).

در صورتی که بتوان روش‌های ارزان قیمت اندازه‌گیری سطح آب را توسعه داد، می‌توان پوشش بیشتری از شبکه‌های اندازه‌گیری سطح آب در کشور ایجاد نمود. چنین داده‌هایی می‌توانند برای مباحث کنترل سیلاب، مدیریت منابع آب و همچنین گسترش اینترنت اشیا در این زمینه‌ها، به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده واقع شوند. لذا در این پژوهش، کارایی یک ماژول مادون قرمز شارپ مدل GP2Y0A02YK0F در اندازه‌گیری تغییرات سطح آب در محیط آزمایشگاه و محیط طبیعی مورد بررسی قرار گرفته است. برای بررسی دستگاه در محیط طبیعی، دیتالاگر فوق کم مصرف ساخت داخل کشور که توانایی کار در محیط حوزه‌های آبخیز را داشته باشد مورد استفاده قرار گرفت. هدف این پژوهش، بررسی کارایی حسگرهای مادون قرمز برای ساخت دستگاه‌های ارزان قیمت و در عین حال کارا جهت اندازه‌گیری تغییرات سطح آب در حوزه‌های آبخیز است.

مواد و روش‌ها

بخش مواد و روش‌های این پژوهش شامل معرفی حسگر مورد استفاده، دیتالاگری که به‌واسطه آن داده‌های حسگر جمع‌آوری شود و درنهایت، ساخت نهایی دستگاه و نصب آن در محیط آزمایشگاه و حوزه آبخیز می‌شود.

معرفی حسگر مورد استفاده: برای برداشت اطلاعات سطح آب از ماژول مادون قرمز شارپ مدل GP2Y0A02YK0F (شکل ۱) استفاده شد که در رده حسگرهای ارزان قیمت مورد استفاده در اهداف فاصله‌سنجی قرار می‌گیرد. این ماژول دارای یک حسگر اندازه‌گیری فاصله شامل مجموعه‌ای یکپارچه از آشکارساز

خطای دستگاه خصوصاً به خاطر تغییرات چگالی آب و جرم‌گرفتگی سطح حسگرهای تماسی تحت تأثیر قرار گرفته و از حالت کالیبره خارج می‌سازد. لذا، همواره اطلاع از جرم مخصوص مایع قبل از استفاده از سنسورهای تماسی مانند سنسور فشار ضروری است (Loizou and Koutroulis, 2016, Lai et al., 2012).

مهم‌ترین مزایای روش‌های غیرتماسی عدم وابستگی زیاد به نوع سیال و عدم درگیر شدن حسگر با سیال است. مشکلات این نوع روش‌ها هنگامی است که بخار سطح آب زیاد باشد و یا سطح آب از کف زیاد پوشیده شده باشد. در چنین حالتی خطای برداشت سطح آب افزایش می‌یابد. به هر حال عدم تماس با آب یک مزیت بسیار عمده برای چنین دستگاه‌هایی به حساب می‌آید که تغییرات فصلی آب خصوصاً چگالی و ظرفیت انتقال جریان الکترونیکی آن بر روی دقت دستگاه تأثیر ندارد و در عین حال احتمال خرابی حسگر به مراتب کمتر است.

از جمله روش‌های غیرتماسی می‌توان به استفاده از عکس‌برداری به‌وسیله دوربین (Lee et al., 2010, Zhen et al., Zhang et al., 2019, Tsubaki et al., 2011, Enamorado et al., 2017, al.), حسگر آلتراسونیک (Majdalani et al., 2007) و همچنین حسگر مادون قرمز (Wang et al., 2020, al.) و روش لیزری اشاره نمود.

به هر حال استفاده از روش‌های ثابت در جمع‌آوری اطلاعات دبی از سطح حوزه‌های آبخیز کشور اهمیتی اساسی در مدیریت حوزه‌های آبخیز دارد. در صورتی که بتوان از پتانسیل این روش‌ها خصوصاً روش‌های غیرتماسی استفاده نمود، می‌توان کاربرد آنها را در سطح کشور توسعه داد. البته موضوع مهم توجه به روش‌های ارزان قیمت اندازه‌گیری سطح آب است که مورد توجه سایر محققان در سطح جهان نیز قرار گرفته است (Cherqui et al., Assendelft and van Meerveld, 2019, Kitchener et al., Galli et al., 2024, al., 2020, Leeuw and Boss, Lambrou et al., 2014, 2019, Wang et al., 2020, Ranieri et al., 2024, 2018). برای مثال (Cherqui et al., 2020)، عملکرد سه حسگر کم‌هزینه پرکاربرد لیزری، اولتراسونیک و فشار را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که سنسور اولتراسونیک بهترین نسبت قیمت به دقت را ارائه

دیتالاگر قرائت کننده خروجی های حسگر: بدیهی است برای قرائت اطلاعات حاصل از این ماژول، نیاز به دیتالاگر است. این دیتالاگر به صورت فوق کم مصرف، انتخاب شد، به طوری که با دو یا چهار باتری قلمی ۱/۵ ولت قادر است حداقل به مدت یک سال به جمع آوری داده بپردازد. دیتالاگر به گونه ای طراحی شده است که اطلاعات حسگر در گام زمانی دلخواه و قابل تنظیم، قرائت و در حافظه جانبی (SD Card) ذخیره شود. البته به علت نیاز به یک سطح غیرقابل عبور نور، این روش با روش قدیمی استفاده از شناورها بر روی سطح آب ترکیب شد.

بعد از اتصال حسگر به دیتالاگر، بدنه مکانیکی دستگاه نیز ساخته شد که شامل یک لوله پلی اتیلن است که سنسور در بالای آن قرار گرفته و این مجموعه در داخل یک بدنه فلزی (بدنه مقاوم در برابر سیلاب ها و روانابها) دیگر قرار داده می شود. تغییرات سطح آب با استفاده از شناور موجود در لوله و توسط حسگر برداشت می شود. این مجموعه ابتدا در آزمایشگاه مورد استفاده و بررسی قرار گرفت. در محیط آزمایشگاه، از آب شفاف و فاقد گل آلودگی برای بررسی کارایی حسگر استفاده شد. شناور در داخل لوله رها شده و به خاطر شکل کروی آن، در سطح آب داخل لوله باقی می ماند.

با تغییرات سطح آب، شناور نیز در داخل لوله حرکت می کند و حسگر تغییرات سطح را تشخیص می دهد. دستگاه دیتالاگر دارای بخش^۳ RTC یا ساعت دقیق است. همچنین همان طور که قبلا نیز بدان اشاره شد، مجهز به کارت حافظه نیز است. لذا تغییرات داده های حسگر در طول زمان به وسیله دستگاه دیتالاگر برداشت و ذخیره می شود. آزمایش اندازه گیری سطح تغییرات سطح آب در ۱۰ مرحله انجام شد و در هر مرحله تغییرات سطح آب و داده های حاصل از حسگر برداشت شد. سپس داده های برداشت شده حاصل از حسگر به عنوان متغیر مستقل و مقادیر واقعی آب به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد و با برآزش چند جمله ای ها (از درجه یک تا چهار) معادلات ارتباط بین متغیر مستقل و وابسته تعیین شد. همچنین ۳۰ درصد

حساس به موقعیت^۱، دیود مادون قرمز^۲ و مدار پردازش سیگنال است. محدوده ولتاژ کاری این مجموعه ۴/۵ تا ۵ ولت است (Parra et al., 2017). محدوده دمایی عملکرد ماژول بین ۱۰- تا ۶۰+ درجه سانتی گراد است. خروجی این ماژول به صورت آنالوگ بوده و ولتاژی متناظر با فاصله اندازه گیری شده شامل اعداد در محدوده صفر تا ۱۰۲۳ است. در صورتی که جسم به ماژول نزدیک شود، خروجی به سمت صفر و در حالتی که جسم از آن فاصله بگیرد اعداد خروجی به سمت ۱۰۲۳ میل می کند. لذا، نیاز به واسنجی داده ها و برقراری ارتباط بین داده های حسگر و مقادیر واقعی وجود دارد. محدوده اندازه گیری این سنسور بین ۲۰ تا ۱۵۰ سانتی متر است و از نور مادون قرمز برای تشخیص فاصله استفاده می کند. این سنسور از روش مثلثی برای تشخیص فاصله استفاده می کند و لذا، تنوع بازتابی اجسام، دمای محیط و زمان بازتابش تأثیری بر روی عملکرد سنسور ندارد (Parra et al., 2017).

عدم تأثیر تغییرات دمایی بر عملکرد حسگر، یک مزیت اساسی نسبت به حسگرهای التراسونیک (که تحت تأثیر شرایط دمایی محیط قرار می گیرند) محسوب می شود. همچنین، غیرتماسی بودن آن نیز نسبت به سایر سنسورهای در تماس مستقیم با آب، یک ارجحیت قابل توجه است. از این سنسور در مصارف مختلفی نظیر تعیین فضاهای خالی (Rastogi and Lohani, 2020)، اندازه گیری تغییرات سطح آب در استخرها و مخازن پرورش ماهی (Parra et al., 2017) استفاده می شود.



شکل ۱- حسگر مادون قرمز مدل GP2Y0A21YK0F

Fig. 1. Infrared sensor model GP2Y0A21YK0F

³ Real-time clock

¹ Position Sensitive Detector (PSD)

² Infrared Emitting Diode (IRED)

نصب دستگاه در محیط طبیعی: بعد از انجام آزمایشات لازم در آزمایشگاه، کارایی و عملکرد دستگاه در محیط طبیعی و در حوزه آبخیز وردیج تهران نیز مورد بررسی قرار گرفت. محل نصب دستگاه در داخل یک پارشال فلوم است. از آنجایی که دستگاه فوق کم مصرف است و نیازی به برق شهری یا سلول خورشیدی ندارد، از لحاظ امنیت نصب در شرایط بسیار مطلوبی قرار داشته و نیازی به تمهیدات نگهبانی ندارد. شکل ۲، نشان دهنده مراحل نصب دستگاه در حوزه آبخیز وردیج تهران است.

از داده‌های برداشت شده نیز برای ارزیابی نهایی روابط ارائه شده در نظر گرفته شد.

ارزیابی عملکرد مدل‌ها: از شاخص‌های ضریب همبستگی R، یا معیار برآورد خطای RMSE برای ارزیابی دقت مدل‌ها استفاده شد که روابط محاسبه آنها در ادامه آمده است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (1)$$

$$R = \frac{\sum PO \cdot \sum P \cdot \sum O}{\sqrt{\sum P^2 \cdot \frac{(\sum P)^2}{n}} \sqrt{\sum O^2 \cdot \frac{(\sum O)^2}{n}}} \quad (2)$$

که در این رابطه‌ها، P و O به ترتیب مقادیر پیش‌بینی شده^۱ و واقعی یا مشاهده شده^۲ و n تعداد نمونه‌ها است.



شکل ۲- مراحل نصب دستگاه سطح‌سنج تغییرات آب با حسگر مادون قرمز

Fig. 2. Steps to install a water level change meter with an infrared sensor

همبستگی بالای داده‌های حسگر با مقادیر واقعی تغییرات ارتفاع آب است.

همچنین، میزان شاخص RMSE نیز بین ۲/۱۶ تا ۱/۸۹ متغیر است. با افزایش درجه چندجمله‌ای، این انطباق بیشتر نیز می‌شود و شاخص RMSE نیز کاهش می‌یابد. البته در صفحات مشخصات (Datasheet) حسگر نیز ارتباط غیرخطی داده‌های برداشت شده توسط سنسور و فاصله نیز بیان شده است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که دقت برداشت‌ها در فاصله بیشتر نسبت به حسگر، بیشتر است. البته این میزان دقت تا

نتایج و بحث

شکل ۳، نشان دهنده عملکرد دستگاه اندازه‌گیری تغییرات سطح آب در محیط آزمایشگاه است. محور xها مربوط به اعداد خروجی حسگر مادون قرمز و محور yها بیانگر مقادیر واقعی تغییرات سطح آب است. چهار معادله چندجمله‌ای درجه ۱ تا ۴ بر روی این نقاط برازش داده شده است. ارتباط معکوس بین داده‌های حسگر و فاصله واقعی در این نمودارها مشهود است. همان گونه که مشخص است مقادیر ضریب همبستگی R در این نمودارها نزدیک به یک است که نشان‌دهنده

² Observed

¹ Predicted

پراکنش نقاط در فاصله‌های بینابین سطح حداقل و حداکثر برداشت حسگر با واقعیت‌ها همخوانی بیشتری دارد و با نزدیک شدن به حدود بالا و پایین دامنه اندازه گیری حسگر، دقت مدل کاهش می‌یابد.

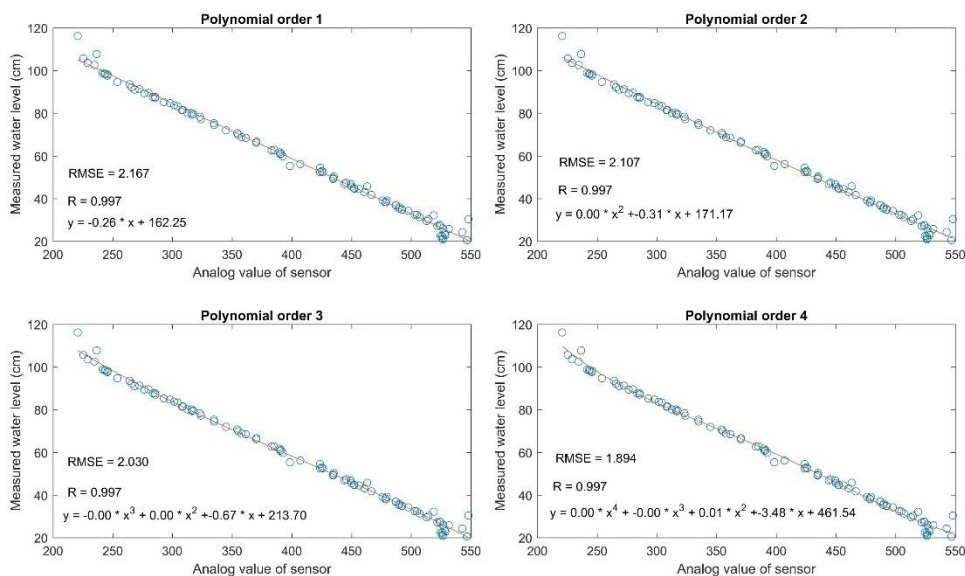
با تغییر محدوده اندازه‌گیری حسگر مخصوصاً حد پایین که ۲۰ سانتی متر است دقت اندازه‌گیری‌ها افزایش قابل توجهی می‌یابد. شکل ۵ و شکل ۶، به ترتیب نشان دهنده برازش منحنی و اکتباس معادلات چندجمله‌ای و همچنین مرحله آزمون مدل‌ها در شرایطی است که حداقل دامنه اندازه‌گیری ۳۰ سانتی متر فاصله از حسگر در نظر گرفته شده باشد.

در این حالت دقت مدل‌ها نسبت به شرایط قبلی چه در مرحله آموزش مدل‌ها و چه در مرحله آزمون آنها دقت قابل توجهی می‌یابد. به طوری که در مرحله آزمون و برازش مدل درجه چهار، میزان شاخص RMSE از ۲/۰۴ (در شرایطی که فاصله حداقل از حسگر ۲۰ سانتی متر در نظر گرفته شود) به ۱/۳۴ سانتی متر افزایش می‌یابد. هرچند که ضریب همبستگی R بین داده‌های واقعی و برازش داده شده نزدیک به یک است، اما در اینجا شاخص RMSE نقش بسیار مهم‌تری دارد. شاخص RMSE به نوعی دقت مدل‌ها را بیان می‌کند که تا چه اندازه به واقعیت نزدیک هستند.

حدی است و با افزایش فاصله به بیش از ۱۰۰ سانتی متر، دقت سنسور افت قابل توجهی می‌یابد.

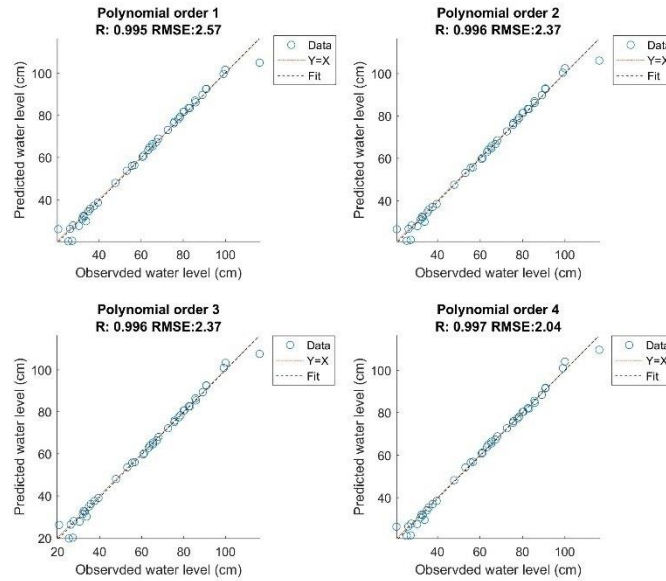
در واقع با کاهش و یا افزایش شدید فاصله حسگر با آب، دقت کاهش می‌یابد و پراکندگی نقاط بین خط برازش بیشتر می‌شود. غیرخطی عمل کردن حسگر در فاصله زیاد و کم کاملاً مشهود است. در کل تبدیل داده‌های آنالوگ به مقادیر واقعی همواره با حدی از خطا (نسب به روش مورد استفاده) همراه است. در صورتی که حسگر به صورت غیرخطی عمل کند، در بازه‌هایی از خروجی‌های آن، حساسیت‌ها افزایش می‌یابد. به عبارتی بهتر، با تغییرات کمی در میزان متغیرهای الکترونیکی، عدد آنالوگ بیشتر یا کمتری ارائه می‌شود. اصلاح این شرایط، نیاز به برداشت نمونه‌های زیادتر و اصلاح روش‌های برازش مدل است.

همان طور که در بخش مواد و روش‌ها بیان شد، برای ارزیابی دقت نهایی مدل، ۳۰ درصد از داده‌ها برداشت شده برای مرحله ارزیابی نهایی معادلات برازش یافته استفاده شد. این داده‌ها به هیچ عنوان در فرایند آموزش (برازش معادلات) دخالت نداشته‌اند. در این حالت، می‌توان با اطمینان بیشتری دقت مدل‌ها را ارزیابی نمود. شکل ۴ نشان‌دهنده داده‌های واقعی و داده‌های حاصل از معادلات برازش یافته (داده‌های برآورد شده در مرحله آزمون) است. در اینجا مشخص است که



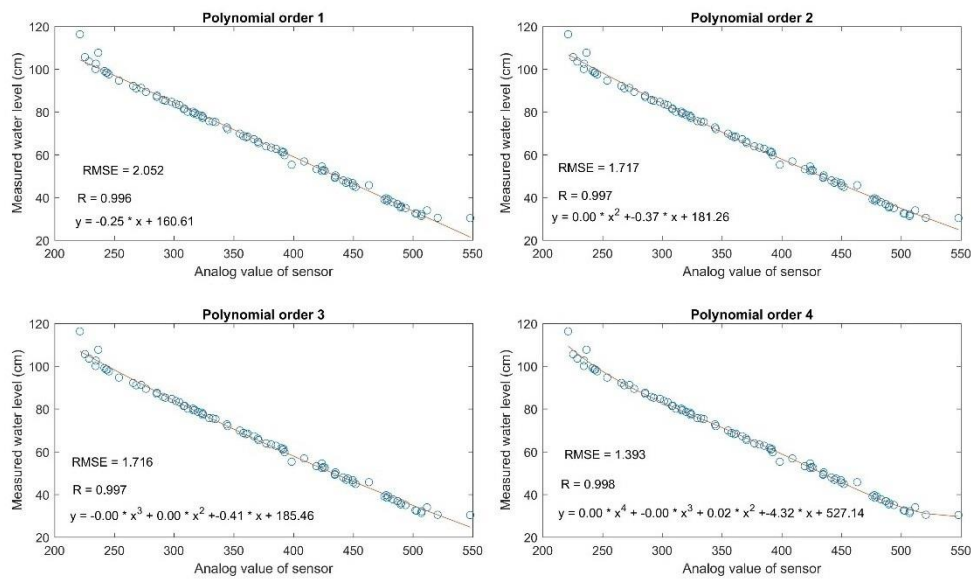
شکل ۳- برازش منحنی و اکتباس معادلات چندجمله‌ای بر داده‌های خروجی حسگر مادون قرمز (به‌عنوان متغیر مستقل) و مقادیر ارتفاع واقعی آب در حالتی که محدوده برداشت داده از ۲۰ سانتی‌متری حسگر شروع شود.

Fig. 3. Curve fitting and adaptation of polynomial equations on infrared sensor output data (as independent variable) and actual water elevation values in a case where the data collection range starts from 20 cm from the sensor.



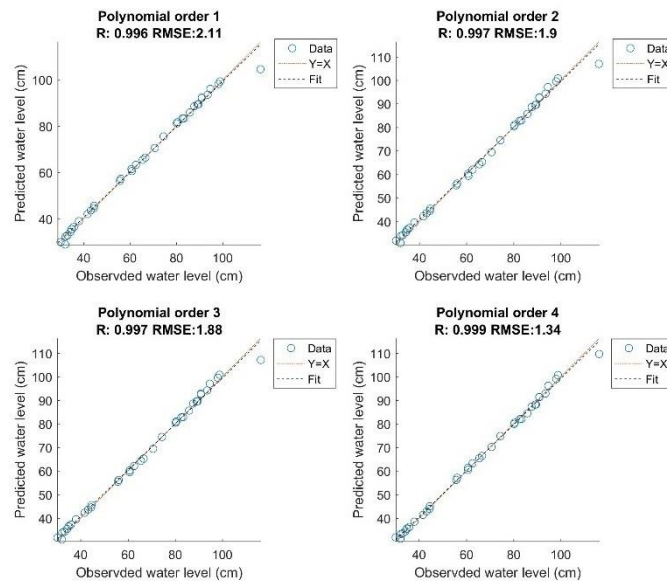
شکل ۴- مقادیر واقعی و برآورد شده تغییرات سطح آب بر اساس معادلات چندجمله‌ای با درجه یک تا چهار که محدوده برداشت داده از ۲۰ سانتی‌متری حسگر شروع شود.

Fig. 4. Actual and estimated values of water level changes based on polynomial equations of degrees one to four, with the data collection range starting from 20 centimeters from the sensor.



شکل ۵- برازش منحنی و اقتباس معادلات چندجمله‌ای بر داده‌های خروجی حسگر مادون قرمز (به عنوان متغیر مستقل) و مقادیر ارتفاع واقعی آب در حالتی که محدوده برداشت داده از ۳۰ سانتی‌متری حسگر شروع شود.

Fig. 5. Curve fitting and adaptation of polynomial equations on infrared sensor output data (as independent variable) and actual water elevation values in a case where the data collection range starts from 30 cm from the sensor.



شکل ۶- مقادیر واقعی و برآورد شده تغییرات سطح آب بر اساس معادلات چندجمله‌ای با درجه یک تا چهار هنگامی که سطح اندازه‌گیری با از ۳۰ سانتی‌متری حسگر در نظر گرفته شود.

Fig. 6. Actual and estimated values of water level changes based on polynomial equations of degrees one to four when the level of measurements is considered from 30 cm from the sensor.

استفاده از حسگرهای ارزان قیمت و همچنین دیتالاگرهای فوق کم‌مصرف با امنیت بالا، می‌تواند بسیار مؤثر باشد. البته استفاده از شناورها در لوله و بحث نفوذ سیل به لوله یک محدودیت اساسی است و رویکردی بایستی در نظر گرفته شود که استفاده از قطعه شناور را در لوله حذف نماید. چراکه گل آلودگی حاصل از سیل می‌تواند حرکت جسم شناور بر سطح آب را تحت تأثیر قرار دهد و بعد از مدتی از حرکت صحیح و متناسب با سطح آب جسم شناور جلوگیری نماید.

همچنین یکی دیگر از مهم‌ترین محدودیت‌های این حسگر، رابطه بین غیرخطی فاصله و مقادیر آنالوگ ارائه شده توسط دستگاه است و این موضوع دقت اندازه‌گیری را کاهش می‌دهد. همان‌طور که نتایج نشان داد، حسگر فواصل میانی را با دقت بیشتری اندازه‌گیری می‌کند. لذا، این دستگاه برای برآورد آب پایه به شرطی که دارای گل آلودگی نباشد و همچنین سطح آب نیز بالا نباشد (آنچه معمولاً در انتهای حوزه‌های آبخیز کوچک مشاهده می‌شود)، دقت بیشتری دارد. رویکرد استفاده از حسگرهای مادون قرمز برای آب‌های شفاف و بدون گل‌لودگی در کانال‌ها، به شرطی که حسگرها و ماژول‌های با دقت بالاتر مورد استفاده قرار گیرند می

نتیجه‌گیری

تا به حال روش‌های بسیار زیادی برای اندازه‌گیری تغییرات سطح آب توسعه یافته‌اند، اما آنچه در انتخاب نهایی نوع روش و دستگاه مورد استفاده تأثیرگذار، هدف است. به عبارتی بهتر، متناسب با شرایط محیطی، دقت مورد انتظار و هزینه، نوع دستگاه و حسگر انتخاب می‌شود. استفاده از حسگرها و روش‌های ارزان قیمت در اندازه‌گیری سطح آب، یک راهبرد اساسی است که می‌تواند در افزایش تعداد ایستگاه‌های اندازه‌گیری سطح آب نقش بسیار مؤثری را ایفا نماید. با این حال، کیفیت داده‌ها نیز بسیار مهم است.

در هر صورت، سنسورهای ارزان قیمت نیاز به آزمایش مناسب برای ارزیابی عملکرد و بهینه‌سازی استفاده از آنها دارند (Cherqui et al., 2020). در رابطه با کاربرد حسگر GP2Y0A02YK0F در اندازه‌گیری تغییرات سطح آب گزارشی یافت نشد. در این پژوهش به بررسی کارایی این حسگر در اندازه‌گیری تغییرات سطح آب پرداخته شد و نتایج نشان داد که در نهایت، با دقت ۱/۳۴ سانتی‌متر، تغییرات سطح آب اندازه‌گیری می‌شود. با توجه به شرایط فعلی حوزه‌های آبخیز کشور و عدم وجود شبکه‌های گسترده اندازه‌گیری سطح آب و دبی، رویکرد کلی ارائه شده در این پژوهش یعنی

التراسونیک را نیز مد نظر قرار داد و دقت و کارایی دستگاه در اندازه‌گیری تغییرات سطح آب را افزایش داد که در تحقیقات آتی بدان پرداخته می‌شود.

تشکر و قدردانی

در اینجا لازم است به جهت از حمایت‌های بسیار مؤثر پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری در اجرای این پروژه، تشکر و قدردانی به‌عمل آید.

تعارض منافع

در این مقاله تضاد منافی وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید همه نویسندگان است.

تواند مفید باشد، اما استفاده از این رویکرد برای اندازه‌گیری سیلاب در حوزه‌های آبخیز مناسب نیست. تا به حال حسگرهای ارزان قیمت مختلفی در اندازه‌گیری تغییرات سطح آب مورد استفاده قرار گرفته و عمدتاً نتایج موفقی را گزارش کرده‌اند (Assendelft, Cherqui et al., 2020, and van Meerveld, 2019, Lambrou et al., 2014, Kitchener et al., 2019, Leeuw and Boss, 2018). البته رویکرد این روش‌ها عمدتاً بر مبنای استفاده از سایر حسگرها مانند حسگر التراسونیک است. سنسورهای التراسونیک از نظر قیمت و همچنین کارایی وضعیت مطلوبی دارند (Cherqui et al., 2020). گل‌آلودگی نیز بر این حسگرها تأثیری ندارد. لذا، برای افزایش کارایی سامانه ارائه شده، بایستی قابلیت‌های سایر انواع سنسورها به‌خصوص نوع

منابع مورد استفاده

- Andang, A., Hiron, N., Chobir, A., Busaeri, N., 2019. Investigation of ultrasonic sensor type JSN-SRT04 performance as flood elevation detection, IOP Conference Series: Materials Sci. Engin. IOP Publishing, p. 012018.
- Assendelft, R.S., van Meerveld, H.I., 2019. A low-cost, multi-sensor system to monitor temporary stream dynamics in mountainous headwater catchments. *Sensor*. 19, 4645.
- Cherqui, F., James, R., Poelsma, P., Burns, M.J., Szota, C., Fletcher, T., Bertrand-Krajewski, J.L., 2020. A platform and protocol to standardise the test and selection low-cost sensors for water level monitoring. *H2Open J*. 3, 437-456.
- Enamorado, S.M., Hurtado, M.D., Andreu, L., Martínez, F., Sánchez, J., Delgado, A., Abril, J.-M., 2007. Development of a recording water flow meter using ultrasonic measurement of water levels in a slotted U-pipe. *Agricul. Water Manage*. 88, 263-268.
- Galli, A., Peruzzi, C., Gangi, F., Masseroni, D., 2024. ArduHydro: a low-cost device for water level measurement and monitoring. *J. Agricultural Engineering*.
- Guaman, J., Astudillo-Salinas, F., Vazquez-Rodas, A., Minchala, L.I., Placencia, S., 2018. Water level monitoring system based on LoPy4 microcontroller with LoRa technology, 2018 IEEE XXV International Conference on Electronics, Electrical Engineering and Computing (INTERCON). IEEE, pp. 1-4.
- Kitchener, B.G., Dixon, S.D., Howarth, K.O., Parsons, A.J., Wainwright, J., Bateman, M.D., Cooper, J.R., Hargrave, G.K., Long, E.J., Hewett, C.J., 2019. A low-cost bench-top research device for turbidity measurement by radially distributed illumination intensity sensing at multiple wavelengths. *HardwareX* 5, e00052.
- Lai, C.-W., Lo, Y.-L., Yur, J.-P., Liu, W.-F., Chuang, C.-H., 2012. Application of Fabry-Pérot and fiber Bragg grating pressure sensors to simultaneous measurement of liquid level and specific gravity. *Measure*. 45, 469-473.
- Lambrou, T.P., Anastasiou, C.C., Panayiotou, C.G., Polycarpou, M.M., 2014. A low-cost sensor network for real-time monitoring and contamination detection in drinking water distribution systems. *IEEE Sensors J*. 14, 2765-2772.
- Lee, M.-C., Leu, J.-M., Chan, H.-C., Huang, W.-C., 2010. The measurement of discharge using a commercial digital video camera in irrigation canals. *Flow Measure. Instrumen*. 21, 150-154.
- Leeuw, T., Boss, E., 2018. The HydroColor app: Above water measurements of remote sensing reflectance and turbidity using a smartphone camera. *Sensors* 18, 256.
- Loizou, K., Koutroulis, E., 2016. Water level sensing: State of the art review and performance evaluation of a low-cost measurement system. *Measure*. 89, 204-214.
- Majdalani, S., Chazarin, J.-P., Moussa, R., 2019. A New Water Level Measurement Method Combining Infrared Sensors and Floats for Applications on Laboratory Scale Channel under Unsteady Flow Regime. *Sensors* 19.

- Nair, B.B., Rao, S., 2016. Flood water depth estimation -A survey, 2016 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research (ICCIC), pp. 1-4.
- Parra, L., Sendra, S., Lloret, J., Rodrigues, J.J.P.C., 2017. Design and deployment of a smart system for data gathering in aquaculture tanks using wireless sensor networks. *Int. J. Communi. Sys.* 30, e3335.
- Parra, L., Sendra, S.A.-O., García, L., Lloret, J.A.-O. Design and Deployment of Low-Cost Sensors for Monitoring the Water Quality and Fish Behavior in Aquaculture Tanks during the Feeding Process.
- Ranieri, C.M., Foletto, A.V., Garcia, R.D., Matos, S.N., Medina, M.M., Marcolino, L.S., Ueyama, J., 2024. Water level identification with laser sensors, inertial units, and machine learning. *Engin. Applica. Artifi. Intelli.* 127, 107235.
- Rastogi, K., Lohani, D., 2020. IoT-based Indoor Occupancy Estimation Using Edge Computing. *Procedia Computer Sci.* 171, 1943-1952.
- Ridolfi, E., Manciola, P., 2018. Water Level Measurements from Drones: A Pilot Case Study at a Dam Site. *Water* 10, 297.
- Tsai, T.-M., Yen, P.-H., 2012. Improvement in stage measuring technique of the ultrasonic sensor gauge. *Measure.* 45, 1735-1741.
- Tsubaki, R., Fujita, I., Tsutsumi, S., 2011. Measurement of the flood discharge of a small-sized river using an existing digital video recording system. *J. Hydro-Environ. Res.* 5, 313-321.
- Wang, B., Baeuscher, M., Hu, X., Woehrmann, M., Becker, K., Juergensen, N., Hubl, M., Mackowiak, P., Schneider-Ramelow, M., Lang, K.-D., Ngo, H.-D., 2020. Development and Characterization of a Novel Low-Cost Water-Level and Water Quality Monitoring Sensor by Using Enhanced Screen Printing Technology with PEDOT:PSS, Micromachines.
- Zhang, Z., Zhou, Y., Liu, H., Gao, H., 2019. In-situ water level measurement using NIR-imaging video camera. *Flow Measure. Instrumen.* 67, 95-106.
- Zhen, Z., Yang, Z., Yuchou, L., Youjie, Y., Xurui, L., 2017. IP camera-based LSPIV system for on-line monitoring of river flow, 2017 13th IEEE International Conference on Electronic Measurement and Instruments (ICEMI), pp. 357-363.