2020, Vol.7, No.2, Pages 1 to 12
Journal of Water and Sustainable Development

سال هفتم، شماره ۲، ۱۳۹۹، صفحات ۱ تا ۱۲
نشریه آب و توسعه پایدار

Article Type: Review

نوع مقاله: مروری

The Importance and Application of Citizen Science in Hydrology and Water Resources Management

M. Sanjari Banestani[1], V. Sheikh[2*], A. Zare Garzi[3], A. Avarand[4]

1,2,3- MSc Student, Associate Professor, & Assistant Professor of Watershed Management Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural ¬Resources, Iran. 4- Ph. D. Student, Agricultural Economics, Payame Noor University, Tehran, Iran.

*(Corresponding Author Email: sheikh@gau.ac.ir)

Received: 29-11-2019
Accepted: 12-01-2020

اهمیت و کاربرد علم شهروندی در هیدرولوژی و مدیریت منابع آب

مریم سنجری بنستانی[1]، واحدبردی شیخ[2*]، آرش زارع گاریزی[3]، آمنه آورند[4]

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشیار و استادیار، گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ٤- دانشجوی دکتری اقتصاد کشاورزی، دانشگاه پیام نور، واحد تهران.

*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: sheikh@gau.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۹/۰۸
تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۰/۲۲

Abstract

The science of hydrology is the basis for decision-making in water resources management and assessing related risks including floods, droughts, and pollution. Despite its vital relevance to the society, this discipline is facing a severe shortage of data in appropriate spatial and temporal scales. This is especially true in low-income and underdeveloped countries due to lack of information and high cost of the monitoring process. Therefore, data collection by local communities and volunteers and monitoring through public involvement is considered effective in this regard. Citizen science entails the involvement of researchers and local volunteers in the process of data collection and analysis, scientific knowledge development, sharing information and encouraging interaction and responsiveness between local communities and natural environment. Literature review shows a limited number of social studies on hydrology and water resources, indicating low leaning to citizen science in water resources management compared to other disciplines such as ecology and astronomy, but there is an increasing trend due to increasing the importance of water resources. Results of researches show that if citizens are adequately educated, the reliability of collected data by citizens can be acceptable. Therefore, considering the potential of citizen science and use of technologies, the reliable, timely and long-term hydrological data can be obtained and used in decision making and management of water resources.

Keywords: Crowdsourcing, Participatory monitoring, Watershed stakeholders, Lack of data, Level of participation.

چکیده

علم هیدرولوژی اساس تصمیم‌گیری در منابع آب و ارزیابی خطرات مربوط به آن مانند سیل و خشک‌سالی و آلودگی است. علی‌رغم اهمیت حیاتی این علم برای جامعه، این زمینه علمی با کمبود شدید داده‌ها در قلمروهای مکانی و زمانی روبه‌رو است. در کشورهای جهان سوم و کم‌درآمد به دلیل محدودیت داده‌ها و اطلاعات آماری و هزینه‌بر بودن فرایند پایش بیشتر با کمبود داده‌ها مواجه هستند. لذا داده‌های جمع‌آوری شده توسط جوامع محلی و داوطلب و پایش از طریق مردم یک روش موثر در این زمینه است. علم شهروندی بیانگر مشارکت بین محققان و جوامع داوطلب با هدف جمع‌آوری داده‌ها، تجزیه و تحلیل داده‌ها، توسعه دانش علمی، اشتراک‌گذاری اطلاعات و تشویق تعامل و تفاهم بین جوامع محلی و محیط‌طبیعی آن‌ها است. مرور منابع نشان می‌دهد به‌کارگیری علم شهروندی در هیدرولوژی و منابع آب نسبت به سایر رشته‌های علمی از قبیل اکولوژی و نجوم محدودتر است، اما به دلیل اهمیت روزافزون منابع آب رو به افزایش است. نتایج تحقیقات نشان داده است درصورتی‌که آموزش کافی به شهروندان داده شود، داده‌های جمع‌آوری شده توسط شهروندان اعتبار قابل قبولی دارد. بنابراین باتوجه‌به پتانسیل علم شهروندی و گسترش تکنولوژی‌ها می‌توان به جمع‌آوری داده‌های هیدرولوژیکی قابل اعتماد، به موقع و طولانی مدت دست یافت و در تصمیم‌گیری و مدیریت منابع آب استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: یکپارچه‌نگری، مشارکت، گرورداران، جامع‌نگری.

DOI: 10.22067/jwsd.v7i2.84355

مقدمه

تأمین آب یکی از اساسی‌ترین خدمات اکوسیستم و زیربنای رفاه اجتماعی است. غالباً موضوع قابل توجهی برای توسعه پایدار و کاهش فقر است (Buytaert و همکاران، ۲۰۱۴). حوضه آبخیز، واحد کار برنامه‌ریزی برای مدیریت منابع طبیعی و ارزیابی خطرات مربوط به خشک‌سالی، سیل و کیفیت آب است. با وجود اهمیت فراوان سیستم آبخیز و ضرورت مدیریت و بهره‌برداری از آن مبتنی بر روش‌های علمی (جمع‌آوری، پردازش و کاربرد داده‌ها)، اکثر حوضه‌های آبخیز به‌ویژه در کشورهای توسعه نیافته و درحال‌توسعه با کمبود داده‌ها، هم در بعد زمان و هم در بعد مکان، روبه‌رو هستند (Hannah و همکاران، ۲۰۱۱).

علم هیدرولوژی، بیشتر تصمیم‌گیری‌ها در مورد منابع آب را تحت تأثیر قرار می‌دهد و مبتنی بر ارزیابی خطرات ناشی از آب مانند سیل و خشک‌سالی است؛ اما علی‌رغم اهمیت ویژه‌ای که در جامعه دارد، این حوزه علمی با کمبود شدید داده‌ها و اطلاعات آماری در هر دو گستره مکانی و زمانی مواجه است (Hannah و همکاران، ۲۰۱۱). پایش هیدرولوژیکی مبتنی بر مشاهدات در تصمیم‌گیری و مدیریت پایدار منابع آب ضروری است. باتوجه‌به پایگاه داده‌ای هیدرولوژیکی محدود، لزوم استفاده از روش‌های جایگزین برای جمع‌آوری داده‌ها اهمیت زیادی دارد.

باتوجه‌به هزینه‌بر و زمان‌بر بودن فرآیند پایش مستمر آبخیزها با استفاده از ابزار و ادوات پیشرفته و تحت نظر مؤسسات و شرکت‌های فنی-تخصصی، اخیراً از رویکرد توسل به شهروندان/ آبخیزنشینان و مشارکت دادن آن‌ها در فرآیند پایش و ارزشیابی استقبال شده است. فن‌آوری‌های جدید ارتباطی و تصویربرداری دیجیتال به مردم این امکان را داده است، اطلاعات زیادی از مشاهدات مربوط به سیل را تولید کرده و از طریق رسانه‌های اجتماعی به اشتراک بگذارند.

تعاریف و مفاهیم اولیه علم شهروندی

علم شهروندی به مشارکت عموم مردم (در کنار دانشمندان) در مراحل مختلف یک تحقیق علمی از جمله طراحی تحقیق، جمع‌آوری داده‌ها و پردازش و تفسیر آن‌ها اطلاق می‌شود. علم شهروندی درگیر شدن اعضای جامعه در مراحل مختلف یک تحقیق علمی مانند جمع‌آوری، طبقه‌بندی و تجزیه و تحلیل داده‌های علمی است (Bonney و همکاران، ۲۰۰۹). در این زمینه، طیف گسترده‌ای از رویکردها، از جمله مشارکت دادن عموم مردم در مراحل مختلف پروژه شامل جمع‌آوری داده‌های جمع‌آوری شده توسط جوامع محلی و داوطلب و پایش داده‌ها از طریق مردم، یک روش موثر در این زمینه تلقی می‌شود (Silvertown، ۲۰۰۹). بنابراین یک نیاز روبه‌رشد در سراسر جهان برای جمع‌آوری داده‌های مقرون‌به‌صرفه در تولید دانش برای مدیریت پایدار منابع طبیعی وجود دارد (Buytaert و همکاران، ۲۰۱۶). این نیاز به توسعه رویکردهای نوین برای جمع‌آوری و نظارت بر داده‌های محیط‌زیستی در توجه روزافزون اخیر به دانش شهروندان منعکس شده است. علم شهروندی (Citizen Science) در تحقیقات منابع طبیعی و پژوهش‌های هیدرولوژیکی در سال‌های اخیر محبوبیت‌های زیادی پیدا کرده است (Njue و همکاران، ۲۰۱۹). علم شهروندی به عنوان بخشی از پروژه مشارکتی با دانشمندان حرفه‌ای می‌باشد (Bonney و همکاران، ۲۰۱۶). برخی علم شهروندی را به عنوان یک همکاری موثر بین دانشمندان حرفه‌ای و داوطلبان (که مسئول جمع‌آوری داده‌ها و تجزیه و تحلیل برخی از آن‌ها هستند) بیان می‌کنند (Bonney و همکاران، ۲۰۰۹). رویکردهای علم شهروندی از نظر مقیاس، هدف و درجه مشارکت متفاوت می‌باشند. مشارکت غالباً بیانگر یک علم شهروندی مشارکتی است که در آن شهروندان در جمع‌آوری داده‌ها مشارکت دارند (Njue و همکاران، ۲۰۱۹).

شهروندان با استفاده از دامنه وسیعی از دستگاه‌ها و تکنیک‌ها مربوط به خود (از جمله موبایل و تبلت)، رسانه‌های اجتماعی و تکنیک‌های جدید می‌توانند با سهولت بیشتری در توسعه علمی شرکت کنند و اطلاعات مورد نیاز را در اختیار محققان و سازمان‌های مربوطه قرار دهند. علم شهروندی این پتانسیل را دارد که ایجاد دانش و شواهد مبتنی بر علم را تقویت کند و در مدیریت منابع طبیعی نقش ویژه‌ای داشته باشد. بنابراین این مقاله با هدف مروری در مورد پتانسیل‌های علم شهروندی و کاربرد آن در زمینه هیدرولوژی، منابع آب و چالش‌ها و فرصت‌هایی که ممکن است در پیش‌رو باشد، انجام شده است.

داده و اجرای آن وجود دارد که انجام وظایف مختلف علمی با کمک گروه‌های بزرگ، از طریق استفاده از اینترنت انجام می‌شود (Dickinson و همکاران، ۲۰۱۲). علم شهروندی یک مفهوم کاملاً جدید نیست، اما در تحقیقات علمی به‌طور فزاینده‌ای محبوب است (Silvertown، ۲۰۰۹).

موضوع مهم در علم شهروندی، میزان حضور دانشمندان یا متخصصان نیست بلکه مشارکت مردم در تحقیقات علمی است. در واقع رویکردی است که در آن داوطلبان به روش‌های مختلف در تولید دانش جدید، مشارکت دارند و به‌طور ذاتی (مثلاً افزایش سواد علمی) و یا بیرونی (به‌عنوان مثال، افزایش

سرمایه اجتماعی) بهره می‌برند. مشارکت شهروندان در علم، یک مفهوم کلی است که از بسیاری از رشته‌ها پدید آمده است. در سال‌های اخیر، علم شهروندی به‌عنوان راهی برای پاسخ به سؤالات تحقیق مورد توجه قرار گرفته است که این عمل نمی‌تواند بدون داده‌برداری و جمع‌آوری اطلاعات صورت پذیرد و همچنین به‌عنوان روشی برای مشارکت مردم و درگیرکردن آن‌ها به‌منظور آشنایی با مشکلات و بهبود سواد علمی انجام می‌پذیرد (Bonney و همکاران، ۲۰۰۹).

تاریخچه علم شهروندی

اگرچه اخیراً علوم شهروندی شناخت گسترده‌تری پیدا کرده است، اما از گذشته در بین مردم رایج بوده است (Bonney و همکاران، ۲۰۰۹؛ Silvertown، ۲۰۰۹). نخستین ابتکار عمل شهروندان در سال ۱۸۹۰ با سرویس ملی در ایالات متحده آغاز شد، جایی‌که داوطلبان اندازه‌گیری روزانه دمای هوا و بارندگی را گزارش می‌کردند (Lee، ۱۹۹۴). در اوایل دهه ۱۹۰۰ میلادی، ائتلاف شمارش پرندگان کریسمس آدوبون در ایالات متحده و اتحادیه شرکت‌های مشترک پرنده‌شناسی در انگلستان تأسیس شد. این پایش پرندگان بزرگ‌ترین، طولانی‌ترین و موفقیت‌آمیزترین اشکال فعالیت‌ها در زمینه علوم شهروندی است که تا به امروز ده‌ها هزار نفر از شرکت‌کنندگان بالغ بر یک میلیون رکورد از انواع گونه‌ها را در سراسر جهان جمع‌آوری و ثبت کرده‌اند (Hochachka و همکاران، ۲۰۱۲). از آن زمان به بعد، کاربرد علم شهروندی به‌طور منظم رشد پیدا نمود، به‌طوری‌که این علم از نظر مقیاس، اندازه، هدف، موضوع مورد بررسی، فراوانی، سطح مشارکت و هزینه‌های پایش بسیار متغیر است (Danielsen و همکاران، ۲۰۰۵).

ترویج علم شهروندی

مشارکت شهروندان به‌صورت بالقوه باعث تقویت چشم‌اندازها می‌شود. پایداری دانش تولید شده به‌صورت طبیعی به محلی که مشارکت در آنجا صورت می‌گیرد بستگی دارد و اگر با مزیت‌های اجتماعی محلی ارتباط داشته باشد پایداری خود را حفظ می‌کند (Danielsen، ۲۰۰۵).

در سیستم‌های مختلف به این دلیل که منابع آب در معرض خطر بودن باید به این بخش توجه بیشتری شود.

۱- چگونگی ارتباط و انگیزه برای مشارکت شهروندان

مشارکت می‌تواند به سبب نگرانی محیط‌زیستی، کنجکاوی علمی و حس تحقق بخشیدن به مشارکت در پیدا کردن پاسخ‌ها باشد، ممکن است به‌صورت داوطلبانه آغاز شود (Cohn، ۲۰۰۸). از سوی دیگر، اعضای یک اجتماع که معیشت آن‌ها بستگی به محیط محلی خود دارد (به‌عنوان مثال، کشاورزان در کشورهای در حال توسعه)، ممکن است از دانش علمی برای ایجاد درک بهتر محیط خود استفاده کنند و از این امر برای به‌دست آوردن اهرم سیاسی در جامعه خود بهره ببرند (Overdevest و همکاران، ۲۰۰۴).

مطالعاتی که در کشورهای مختلف انجام شده است نشان می‌دهد، در هر کشوری مردم چگونه درگیر مشارکت می‌شوند. مشارکت قوی شهروندان در به اشتراک‌گذاری و جمع‌آوری اطلاعات در نهایت منجر به آمادگی بیشتر نسبت به تغییرات ناگهانی می‌شود. در پروژه‌های علوم شهروندی برای دستیابی به مشارکت داوطلبانه پایدار، مسیرهای ارتباطی بین متخصصان علمی، داوطلبان شهروندی و اعضای جامعه غیر عضو باید با دقت مورد توجه قرار گیرد و همچنین توجه بیشتری به وضوح آموزش و بازخورد آن در سراسر پروژه صورت گیرد (Rotman و همکاران، ۲۰۱۴).

مشارکت مردم در فعالیت‌های جمع‌آوری داده نه تنها شامل مشارکت گسترده مردم می‌شود بلکه اطلاعات مهمی را برای مدیریت آبخیز فراهم می‌کند (Starkey و همکاران، ۲۰۱۷). در حقیقت، پروژه‌های شهروند-دانشمند در مناطق مختلف با اهداف متفاوتی اجرا می‌شود به‌طوری‌که در مناطق ثروتمند با هدف افزایش آگاهی و سواد علمی و در مناطق در حال توسعه غالباً با هدف افزایش رفاه اجتماعی و کاهش فقر اجرا می‌شود (Gura، ۲۰۱۳).

۲- مشارکت در علم شهروندی

از دیدگاه پژوهشگران، پنج فاکتور اقدام، حفاظت، تحقیق، آموزش و پرورش بر اساس مشارکت نسبی شهروندان و دانشمندان در طراحی، جمع‌آوری، تفسیر و بهره‌برداری داده‌ها شناسایی شده است که تمایلات علمی شهروندان بر اساس این پنج فاکتور سازمان‌یافته و توسعه داده شده است (Wiggins و Crowston، ۲۰۱۱). مشارکت جمعی می‌تواند به علم شهروندی سمت و سو دهد. مشارکت جمعی را می‌توان در پروژه‌های تحقیقاتی علم شهروندی استفاده کرد، اگرچه شهروندان معمولاً اعضای عمومی هستند و علی‌رغم اینکه در موضوع مورد مطالعه به‌طور رسمی آموزش دیده نیستند، ورودی و سهم ارزنده‌ای را ارائه می‌دهند (Swan، ۲۰۱۲). مشارکت جمعی و علوم شهروندی روش‌هایی برای تولید ایده‌ها، حل مشکلات و انجام وظایف ارائه می‌دهند، همه این‌ها می‌توانند در فرایندهای تحقیق نقش داشته باشند. همچنین پروژه‌های علمی شهروندی مبتنی بر رویکردهای مشارکت جمعی،

باعث ایجاد گفتگو بین محققان و شهروندان می‌شود که می‌تواند اعضای جامعه را درگیر تحقیق نماید و تحقیقات را جامع‌تر و کامل‌تر کنند (Del Savio و همکاران، ۲۰۱۶). مشارکت جمعی برای کارهای گسترده بسیار مفید است و این امکان را برای انجام کارهایی که برای گروه کوچکی از محققان وقت‌گیر یا پرانرژی است، فراهم می‌کند . فن‌آوری دیجیتالی و اینترنت باعث افزایش چشمگیر و بالقوه فعالیت‌های مشارکت جمعی و ابتکارات علمی شهروندان شده است. مشارکت جمعی می‌تواند در مراحل مختلف فرآیند تحقیق از جمله جمع‌آوری داده‌ها، پردازش و تفسیر استفاده شود (Afshinnekoo و همکاران، ۲۰۱۶). نمونه‌ای از برنامه‌های علمی و کاربردی که از مشارکت جمعی و پژوهش شهروندی می‌توان در آن‌ها استفاده نمود در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱- نمونه‌ای از برنامه‌های مشارکت جمعی در پژوهش‌ها

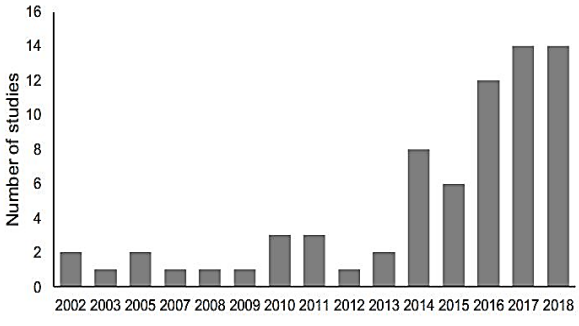
برنامه	توضیحات
جمع‌آوری داده‌ها	**جمع‌آوری اطلاعات:** جمع‌آوری اطلاعات یک کاربرد متداول از جمع‌آوری داده‌ها در علم شهروندی است. شهروندان می‌توانند حجم زیادی از داده‌ها را جمع‌آوری کنند و گستره وسیعی از مکان‌های جغرافیایی یا لحظه‌های زمانی را پوشش دهند.
پردازش داده‌ها	**۱- تفسیر و طبقه‌بندی تصاویر:** یک کاربرد متداول از علم شهروندی در مشارکت جمعی است. بعضی مواقع انسان‌ها می‌توانند بهتر از کامپیوترها عکس‌ها را تفسیر کنند، مانند تصاویر حاوی حیات‌وحش. **۲-طبقه‌بندی داده‌ها به غیر از تصاویر:** انواع داده‌ها شامل صدا، متن دست نوشته و خلاصه‌های علمی است.
حل مسئله	**۱- ایجاد زمینه رقابت:** مشارکت کنندگان که اغلب مردم عادی هستند، برای حل مشکلات یا توسعه ایده‌های جدید با یکدیگر رقابت می‌کنند. این رویکرد با ترسیم دیدگاه‌های متنوع، مزایایی را می‌تواند ایجاد کند. **۲- بازی‌های هدفمند:** بازی‌های هدفمند ممکن است مشارکت را تشویق کند، زیرا سرگرم کننده هستند و به سوال‌های تحقیقاتی اساسی احتیاج ندارند.
شکل دادن به اولویت‌های تحقیق	**تنظیم برنامه توسط شهروندان:** جوامع ذی‌نفع ممکن است حیطه‌های مهمی را که احساس می‌کنند باید در تحقیقات مورد توجه قرار گیرند، شناسایی می‌کنند.
تولید ایده	**گروه‌های سازمان‌یافته:** تولید ایده یکی از چارچوب‌های مشارکت جمعی است که فضای دیجیتالی و اجتماعی را برای تولید، بحث و گفتگو، پالایش و ارزیابی ایده‌ها ارائه می‌دهد (Saldivar و همکاران، ۲۰۱۶)، بنابراین سازمان‌ها یا افراد می‌توانند از این طریق برای ایجاد فضاهای آنلاین استفاده کنند که جوامع ذی‌نفع بتوانند برای به اشتراک گذاشتن ایده‌ها گروه‌های سازمان یافته را تشکیل دهند. در نهایت ایده‌های برتر رتبه‌بندی می‌شوند، سپس توسط سازمان‌ها پذیرفته می‌شوند یا به روش‌های دیگر پیش می‌روند.
ایجاد اجماع	روش‌های مختلفی برای ایجاد اجماع وجود دارد. مشهورترین آن‌ها دلفی است. دلفی تکنیکی برای جمع‌آوری و ترکیب نظرات متخصصان است که در دهه ۵۰ و ۱۹۶۰ در شرکت RAND توسعه‌یافته است. اکنون مطالعات مبتنی بر روش‌های دلفی معمولاً با استفاده از ابزارهای آنلاین انجام می‌شود . (https://www.rand.org/pubs/tools/expertlens.html)

کاربرد علم شهروندی و مطالعات انجام شده در زمینه هیدرولوژی و منابع آب

علاوه‌بر اهمیت و مزایای متعدد داده‌های بلندمدت هیدرولوژیکی، مقدار داده‌های جمع‌آوری شده در زمینه هیدرولوژی تا سال ۲۰۰۹ کاهش یافته است. در بسیاری از نقاط جهان، به‌ویژه در آفریقا، آمریکای لاتین، آسیا و حتی آمریکای شمالی میزان جمع‌آوری داده کاهش یافته است (Mishra و Coulibaly، ۲۰۰۹). عوامل متعددی منجر می‌شود که جمع‌آوری داده‌ها کاهش یابد.، اما فقدان درک اهمیت داده‌های جریان درازمدت و چالش‌های تأمین مالی مداوم از دلایل اصلی این کاهش محسوب می‌شوند (Pearson، ۱۹۹۸). درحالی‌که سیستم‌های آب در طول زمان و فضا با فعالیت‌های طبیعی یا انسانی تغییر می‌کنند و به تبع آن تصمیم‌گیری‌ها و اقدامات مدیریتی باید انجام شود تا از شرایط نامطلوب در حال حاضر و آینده جلوگیری شود.

تصمیم‌گیری و انجام اقدامات بهینه نیازمند پایش مستمر و جمع‌آوری داده‌های طولانی مدت از سیستم مورد نیاز است و بدون وجود چنین داده‌هایی تصمیم‌گیری‌ها و اقدامات مبنای علمی قوی نخواهند داشت. امروزه، تکنیک‌های اندازه‌گیری جریان از راه دور (در حال حاضر فقط برای رودخانه‌های بزرگ)، یک روش امیدوار کننده برای جبران کمبود داده‌ها

است (Lowry و Fienen، ۲۰۱۳)، اما Njue و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهش خود از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۸، تعداد ۷۱ مطالعه را بررسی کردند، نتایج بررسی آنها نشان داد تعداد پروژه‌های علمی دانش هیدرولوژی در دهه گذشته افزایش یافته است (شکل ۱).

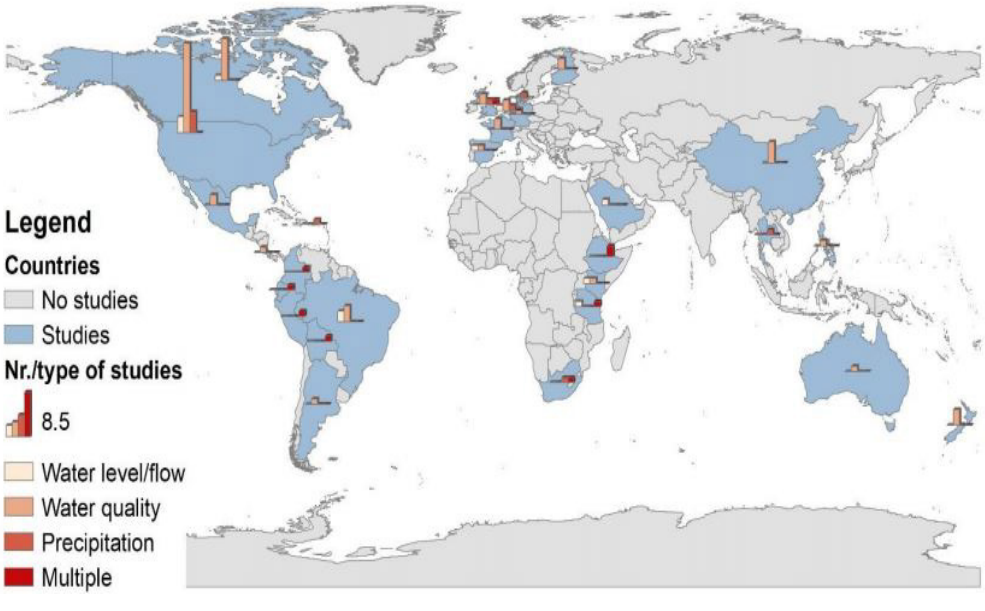


شکل ۱- تعداد پروژه‌های علم شهروندی در زمینه هیدرولوژی بین سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۸ (Njue و همکاران، ۲۰۱۹)

دلایلی همچون، پیشرفت فناوری‌های نوظهور، افزایش تجهیزات سنجش کم‌هزینه و افزایش علاقه به پژوهش در زمینه کمیت و کیفیت آب در بین شهروندان باعث شده است، تعداد مطالعات در این زمینه به‌ویژه از سال ۲۰۱۴ به سرعت افزایش یابد.

بیشتر مطالعات در مناطق با درآمد بالا صورت گرفته است، آمریکای شمالی و اروپا به‌ترتیب با ۴۵٪ و ۲۰٪ بیشترین میزان مطالعات را داشتند. مطالعات اندکی در رابطه با علم شهروندی در زمینه هیدرولوژی انجام شده است. این مطالعات در استرالیا ۴٪ و کشورهای در کم درآمد آفریقا و آسیا به‌ترتیب ۱۰٪ و ۹٪ گزارش شده است (شکل ۲). علم شهروندی در هیدرولوژی حتی در کشورهای کم درآمد، اگرچه هنوز در مراحل ابتدایی است، اما به تدریج رو به افزایش است. شکل (۲) پراکنش جغرافیایی مطالعات علم شهروندی در زمینه هیدرولوژی را نشان می دهد.

همانطورکه در شکل (۲) مشاهده می‌شود اکثر برنامه‌های علم شهروندی (۶۳٪) روی نظارت بر کیفیت آب متمرکز بودند، جمع‌آوری داده‌های سطح آب نسبت به پارامترهای کیفیت آب آسان‌تر است که از دلایل عمده این تسهیل در جمع‌آوری داده‌ها: ۱- افزایش آگاهی و نگرانی جهانی در خصوص مسائل و مشکلات کیفیت آب (Njue و همکاران، ۲۰۱۹)، ۲- وجود کیت‌های تست ارزان قیمت که طیف گسترده‌ای از پارامترهای اساسی کیفیت آب را در زمان کوتاهی اندازه‌گیری می‌کند، می‌باشد (Buytaert و همکاران، ۲۰۱۴). در جدول (۲) تعدادی از مطالعات انجام شده در کشورهای مختلف جهان در زمینه کاربرد علم شهروندی در هیدرولوژی ارائه شده است.



شکل ۲- توزیع مطالعات علم شهروندی در زمینه هیدرولوژی در نقاط مختلف جهان (Njue و همکاران، ۲۰۱۹)

جدول ۲- مروری بر کاربرد علم شهروندی در زمینه هیدرولوژی و منابع آب

مرجع	مکان پژوهش	تعداد سایت‌های اندازه‌گیری	طول دوره اندازه‌گیری	پارامتر اندازه‌گیری شده	آموزش	انتقال داده
Cunha و همکاران (۲۰۱۷)	برزیل	۶۴ سایت	۴ ماه	کیفیت آب	آموزش یافته	نمونه‌گیری از آب و انتقال به آزمایشگاه
Leeuw و Boss (۲۰۱۸)	آمریکا	۱۴ اندازه‌گیری	۱ روز	کیفیت آب	آموزش یافته	اپلیکیشن تلفن همراه
Starkey و همکاران (۲۰۱۷)	بریتانیا	۱۰ سایت	بیشتر از دو سال	بارش، سطح آب و کیفیت آب	آموزش یافته	وب‌سایت، ایمیل، برنامه اندروید
Vos و همکاران (۲۰۱۷)	هلند	۶۳ سایت	۴ ماه	بارش	آموزش نیافته	وب‌سایت
Ochoa-Tocachi و همکاران (۲۰۱۸)	پرو، اکوادور و بولیوی	۹ سایت	وجود ندارد	بارش و جریان آب	آموزش نیافته	وجود ندارد
Lowry وFienen (۲۰۱۳)	آمریکا	۹ سایت/ ۱۵۰ اندازه‌گیری	بیشتر از ۶ ماه	سطح آب	آموزش نیافته	پیام متنی با تلفن همراه
Little و همکاران (۲۰۱۶)	کانادا	۴۰ سایت	۵ سال	سطح آب	آموزش یافته	تلفن، فکس یا ایمیل
Michelsen و همکاران (۲۰۱۶)	عربستان صعودی	۱۶ فیلم	یک سال	سطح آب	آموزش نیافته	اشتراک‌گذاری فیلم‌ها در یوتیوب
Weeser و همکاران (۲۰۱۸)	کنیا	۱۳ سایت/ ۱۲۵ شرکت کننده/۱۱۷۵ اندازه‌گیری	یک سال	سطح آب	آموزش یافته	پیام متنی با تلفن همراه

متغیرهای هیدرولوژیکی اندازه‌گیری‌شده با رویکرد علم شهروندی

۱- بارندگی:

بارندگی یکی از متغیرهای مهم هیدرولوژی است. ریزش‌های جوی که به‌صورت باران و برف و تگرگ و یا مخلوطی از برف و باران و شبنم انجام می‌گیرد، بارندگی نامیده می‌شود. میزان بارندگی و مقدار تبخیر از سطح آب در تعیین میزان ذخایر آب‌های سطحی و زیرزمینی اهمیت زیادی دارد. اندازه‌گیری مقدار بارندگی در تمام سطح کره زمین به علت نداشتن یک شبکه کامل ایستگاه‌های باران‌سنجی به‌طور دقیق ممکن نیست. در مطالعات هواشناسی منظور از تعیین میزان بارندگی، جمع مقادیر بارندگی مایع و معادل مایع هر بارندگی جامد از قبیل برف و تگرگ برحسب ارتفاع می‌باشد؛ بنابراین تمام بارندگی‌ها باید به‌طور دقیق و روشن اندازه‌گیری شود. واحد اندازه‌گیری باران اینچ و میلی‌متر است. ساده‌ترین و متداول‌ترین روش اندازه‌گیری ریزش باران استفاده از باران‌سنج ساده می‌باشد. طراحی آسان و مقرون‌به‌صرفه این نوع از باران‌سنج‌ها و سهولت اندازه‌گیری، کاربرد آن‌ها را در محیط‌های سنتی (اندازه‌گیری توسط افراد محلی) دوچندان می‌کند (World Meteorological Organization، ۱۹۹۴). برای اندازه‌گیری باران به شرایط آیرودینامیک و شرایط محلی بستگی دارد و کیفیت و کمیت اندازه‌گیری را تحت تأثیر قرار می‌دهد. برای اندازه‌گیری باران، فرصت‌ها و چالش‌هایی وجود دارد. تجهیزات ارزان (به‌عنوان مثال باران‌سنج ساده) می‌تواند به‌عنوان فرصتی تلقی می‌شود که شهروندان و آبخیزنشینان را تشویق به پایش و اندازه‌گیری کند (به دلیل عدم پیچیدگی و سهولت اندازه‌گیری). از جمله مشکلات پیش‌رو در رابطه با باران‌سنج‌ها می‌تواند به نحوه نصب، نگهداری از آن، چگونگی جمع‌آوری داده (داده‌های مطمئن) و پیدا کردن مکان مناسب و استاندارد اشاره کرد.

۲- جریان (حجم در واحد زمان):

جریان آب شامل سرعت و سطح مقطع عرضی و تراز سطح آب (عمق) است که اندازه‌گیری آن‌ها تقریباً پیچیده است و نیاز به شرایط خاص و ایده‌آل دارد (Herschy، ۲۰۰۹). از جمله پروژه‌های موفق شهروندی در این زمینه پروژه‌ای در

پرو که سرعت و عمق جریان آب را اندازه‌گیری کردند و نشان دادند نتایج مطلوبی از پروژه‌های شهروندی در اندازه‌گیری جریان آب می‌توان دریافت کرد (Célleri و همکاران، ۲۰۰۹). روش‌های جدید به سرعت در حال معرفی و توسعه هستند که سازگاری بیشتری با پروژه‌های شهروندی دارد. به‌عنوان مثال اندازه‌گیری تراز سطح آب با کمک دوربین (عکس) یکی از ایده‌هایی است که به اندازه‌گیری جریان آب کمک فراوانی می‌کند، به‌گونه‌ای‌که مردم می‌توانند قبل و حین وقوع و پس از وقوع از مراحل مختلف جریان ایجاد شده عکس بگیرند و آن‌ها را از طریق شبکه‌های اجتماعی با کارشناسان به اشتراک بگذارند (Royem و همکاران، ۲۰۱۲).

۳- کیفیت آب:

مشارکت شهروندان در نظارت بر کیفیت آب غالباً به دلیل داشتن دانش تخصصی و یا تجهیزات لازم برای تجزیه و تحلیل پیشرفته‌تر به جمع‌آوری داده‌ها به‌صورت نمونه آب، پارامترهای پایه هیدروشیمیایی یا سایر شاخص‌ها محدود می‌شود (Overdevest و همکاران، ۲۰۰۴). فناوری‌های جدید چشم‌اندازهای وسیعی از جمع‌آوری داده را ایجاد کرده است.. سنسورهای جدیدی برای اندازه‌گیری کیفیت آب (شوری، درجه حرارت، کدورت، اکسیژن محلول، هدایت الکتریکی و pH) تولید شده است که به آسانی این پارامترها را اندازه‌گیری می‌کند. به‌عنوان مثال سیستم waterBot شامل یک سنسور است و به‌طور مداوم دمای آب را اندازه می‌گیرد (CREATE Lab Carnergie Mellon University، ۲۰۱۴).

۴- رطوبت خاک:

اندازه‌گیری رطوبت خاک امروزه معمولاً به‌صورت خودکار انجام می‌گیرد. به‌عنوان مثال سنسور TDR و تکنولوژی مربوط رطوبت خاک به‌صورت اتوماتیک اندازه‌گیری می‌کند. محدودیت پیش‌رو تغییرپذیری زیاد متغیر و خاک‌های یخ زده مشکلاتی را به همراه دارد. با این حال اندازه‌گیری‌های رطوبت خاک می‌تواند مفید باشد و نوسانات رطوبت خاک را قبل و پس از وقایع بارش مشخص کند. علم شهروندی می‌تواند با پایش رطوبت خاک کمک شایانی به دانشمندان در انجام مطالعات مختلف نمایند. به‌عنوان مثال اپلیکیشن GLOBE یک مشارکت در علم و آموزش است که به دانشجویان و عموم مردم در سراسر جهان این فرصت را می دهد تا به محققان کمک کنند، محیط و آب‌وهوای جهانی را درک کنند. اپلیکیشن GLOBE پروتکل رطوبت خاک را تکمیل می‌کند و با اندازه‌گیری ماهواره‌ای همسو می‌شود. شهروندان می‌توانند با اندازه‌گیری رطوبت خاک در ساعاتی که ماهواره رطوبت خاک را پایش نمی‌کند، میزان رطوبت را بسنجند و در اپلیکیشن ثبت نمایند. در نهایت دانشمندان می‌توانند داده‌ها را در وب سایت GLOBE مشاهده کنند و از آنها برای اعتبارسنجی داده‌های رطوبت خاک توسط ماهواره استفاده کنند. اپلیکیشن دیگری با عنوان CrowdWater برای اندازه‌گیری رطوبت خاک طراحی شده است. با نصب این اپلیکیشن شهروندان در تلفن همراه خود می توانند، باتوجه‌به مشاهدات ساده سطح زمین و بر اساس چسبندگی گل به کفش، میزان فرورفتگی کفش در خاک یا ردپا روی خاک وضعیت رطوبت خاک را در یکی از هشت سطح (خشک تا کاملا خیس شده در حین بارندگی یا پوشیده شده توسط برف) متفاوت انتخاب در اپلیکیشن ثبت نمایند (Rinderer و همکاران، ۲۰۱۲).

۵- پوشش گیاهی:

درحالی‌که روش‌های سنجش‌ازدور برای شناسایی مناطق مختلف دارای پوشش گیاهی به‌کار برده می‌شود، اما نیازمند بازدید و تأیید صحرایی انواع پوشش گیاهی، پویایی مکانی گیاهان و جنبه‌های پایداری اکوسیستم می‌باشد که از طریق سنجش‌ازدور به آسانی قابل تشخیص نیستند. لذا استفاده از فناوری‌های قابل دسترس مانند عکاسی ممکن است فرصت بیشتری در اختیار شهروندان برای تولید داده قرار دهد. علاوه‌براین شهروندان می‌توانند اطلاعاتی را در زمینه میزان پوشش گیاهی در زمان‌های مختلف و شناسایی گونه‌های بومی ارائه دهند. به‌عنوان مثال دانشمندان به‌علت دانش محدود در زمینه انتشار گیاهان مهاجم در تگزاس اپلیکیشنی طراحی کردند تا بتوانند با کمک اپلیکیشن و شهروندان اطلاعات لازم را در این زمینه به‌دست بیاورند. برنامه Invaders of Texas یک برنامه علمی موفق شهروند است که در آن داوطلبان گیاهان مهاجم را در سراسر تگزاس بررسی و نظارت می کنند. اپلیکیشن Invaders of Texas دانشمندان شهروند را آموزش می دهد تا پراکنش گیاهان مهاجم در مناطق محلی خود را کشف کرده و آنها را به یک پایگاه داده نقشه برداری آنلاین گزارش دهند (Gallo و Waitt، ۲۰۱۱).

دانشمندان در ایالت متحده آمریکا جهت شناسایی آفات و بیماری گونه‌هایی از درختان به کمک شهروندان اپلیکیشنی طراحی کردند. TreeSnap یک پروژه علمی شهروند و یک اپلیکیشن موبایل است و شهروندان با استفاده از آن می‌توانند به راحتی مکان‌ها، عکس‌ها و اطلاعات مشاهده‌ای در مورد درختان مورد علاقه دانشمندان را برای آن‌ها به همراه موقعیت جغرافیایی درخت ارسال کنند. کاربران هنگام باز کردن برنامه تلفن همراه TreeSnap، لیستی از درختان مورد علاقه دانشمندان را مشاهده می‌کنند و پس از انتخاب یک

درخت، مجموعه سؤالات مطرح شده توسط دانشمندان در مورد آن درخت را مشاهده می کنند. کاربران برای پاسخ به این سؤالات عکس می‌گیرند، علائم بیماری یا آفات را در گیاه جستجو می‌کنند و ارزیابی می‌کنند آیا درخت سالم است یا خیر و در نهایت در وب سایت TreeSnap، کاربران و دانشمندان می‌توانند نقشه مشاهدات ثبت شده برای آن درخت را استخراج کنند (Crocker و همکاران، ۲۰۱۹).

۶- سطح رودخانه:

به‌منظور برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب، پیش‌بینی سیل، طراحی مهندسی، کشتیرانی و مدیریت محیط‌زیستی آگاهی از اطلاعات دبی جریان رودخانه ضروری است. روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری دبی جریان در رودخانه‌ها وجود دارد. طی یک قرن گذشته عمدتاً از اندازه‌گیری سرعت جریان به‌وسیله مولینه و کاربرد روش سرعت-سطح مقطع استفاده شده است. این روش زمان‌بر و نیازمند نیروی انسانی زیاد است؛ اما طی چند دهه اخیر روش‌های نوینی جهت اندازه‌گیری جریان توسعه یافته است که می‌توان به روش‌های غیرتماسی التراسونیک، لیزر و رادار اشاره کرد. یکی از روش‌های ساده و کاربردی رایج از گذشته‌های دور، اندازه گیری ارتفاع آب رودخانه از طریق نصب اشل و قرائت ارتفاع آب توسط متصدی استخدام شده برای این منظور می‌باشد. ازآنجایی‌که هزینه پرسنلی این روش بسیار بالا است، برای قرائت سطح آب رودخانه‌ها می‌توان از شهروندان داوطلب بهره برد. در این رویکرد، شهروندان در زمان تردد از کنار یا عرض رودخانه، با عکس گرفتن از اشل‌های نصب شده یا مارکرهای مشخص شده همچون دهانه پل‌ها و دیواره‌های جانبی سنگی یا بتونی رودخانه‌ها و بارگذاری این تصاویر در اپلیکشن مخصوص (CrowdWater) مجهز به نقشه‌های آنلاین یا آفلاین در تهیه اطلاعات تراز آب رودخانه‌ها به‌ویژه در مواقع سیلابی کمک شایانی به مدیران و متولیان امور می‌کنند (Rinderer و همکاران، ۲۰۱۲).

۷- استفاده از آب:

آگاهی از میزان مصرف آب برای ارزیابی بحران آب بسیار مهم است. اقدامات بخش های مختلف مصرف آب بیانگر سطح رقابت و وابستگی به منابع آب است. علاوه‌بر این آب پس از استفاده در صنعت، کشاورزی و سایر بخش ها، به ندرت در شرایط کیفی مناسب به آبخیز برگردانده می‌شود و این کاهش در کیفیت آب منجر به افزایش سطح تنش آبی به‌ویژه در مناطق پایین‌دست می‌شود. از طرف دیگر، برآورد مصرف آب در پهنه آبخیز، به ارزیابی تأثیر استفاده از آب و میزان دسترسی به منابع آب در مناطق پایین‌دست آبخیز کمک می‌کند و برای ارزیابی کمبود آب در سطح حوضه آبخیز و پیامدهای آن از جمله تأثیرات بر اکوسیستم‌های آبی بسیار ضروری است.

جدول ۳- بعضی از متغیرهای هیدرولوژیکی اندازه‌گیری شده و چالش‌ها و فرصت‌های پیش‌رو در استفاده از علم شهروندی

متغیر	فرصت‌ها	چالش‌ها
بارندگی	تجهیزات ارزان، تجزیه و تحلیل اثرات محیط‌زیستی، ادغام با مشاهدات دیگر	نصب، نگه‌داری، جمع‌آوری داده‌های بلندمدت، مستندسازی شرایط محیطی
جریان (حجم در واحد زمان)	اندازه‌گیری ارزان، تکنیک تجزیه و تحلیل عکس از مراحل مختلف جریان، جمع‌آوری داده‌های کالیبره شده	نصب و نگهداری مناسب، کنترل کیفیت، پشتیبان فنی
کیفیت آب	ابزار ارزان، تجزیه تحلیل آسان، اندازه‌گیری اتوماتیک	چندین پارامتر بسیار پرهزینه و تجزیه و تحلیل سخت، نیاز به مستندات کافی در زمینه مشاهده، استراتژی نمونه‌گیری
رطوبت خاک	اندازه‌گیری خودکار از طریق سنسور	ارتباط با خواص دیگر خاک، وابستگی به متغیرهای هیدرولوژیکی، تنوع مکانی بالا
پویایی گیاهان	تکنولوژی قابل دسترس (عکاسی، GPS)، تصاویر ماهواره‌ای، شناسایی از راه دور	پردازش داده به صورت سیستماتیک، ترکیب با داده‌های از راه دور
استفاده از آب	در دسترس بودن سنسورهای الکترونیکی، ارتباط داده‌ای مناسب با کمک اینترنت	تفسیر نتایج و اطلاعات، دخالت انسان
سطح رودخانه	اندازه‌گیری دقیق و کم‌هزینه با استفاده از فناوری دقیق مانند لیدار	نگهداری مناسب و استخراج داده‌ها، نمایش و انتقال زمان واقعی داده‌ها و دخالت انسان

نحوه ارسال و اعتبارسنجی داده‌ها

داده‌های حاصل از اندازه‌گیری را می‌توان از طریق پیام کوتاه، شبکه‌های اجتماعی یا نرم‌افزار قابل نصب روی تلفن‌های همراه (که به‌طور خاص برای این کار طراحی شده است) به گروه تحقیق ارسال کرد. در مورد متغیرهایی که به‌صورت پراکنده در نقاط مختلف اندازه‌گیری می‌شوند، ذکر تاریخ و محل دقیق اندازه‌گیری (ترجیحاً مختصات جغرافیایی) ضرورت دارد. نتایج تحقیقات علوم شهروندی و بازخورد پروژه‌های انجام شده در این زمینه در آرژانتین، فرانسه و نیوزلند نشان داده است، ارتباطات جدید و فن‌آوری‌های تصویر دیجیتال، عموم مردم را قادر به تولید مقادیر زیادی از مشاهدات سیل و به اشتراک‌گذاری آن‌ها از طریق رسانه‌های اجتماعی کرده است. علاوه‌بر گزارش سیلاب، اطلاعات هیدرولیکی ارزشمند مانند حجم و عمق جریان را می‌توان با استفاده از پیام‌ها، عکس‌ها و فیلم‌های تولید شده توسط شهروندان به دست آورد، اکثر اندازه‌گیری‌های هیدرولوژیکی فرکانس زمانی کمی دارند (به‌عنوان مثال بارندگی ساعتی، اندازه‌گیری لحظه‌ای جریان آب) که انتقال داده‌های جمع‌آوری شده با استفاده از اینترنت و تلفن همراه کار را آسان می‌کند حتی در مناطق دورافتاده مانند کوه‌ها پوشش تلفن همراه به‌طور فزاینده‌ای رایج است. حتی زمانی‌که شبکه‌های تلفن همراه امکان اتصال به اینترنت را نداشته باشند، انتقال داده از طریق پیام کوتاه قابل قبول است (Williams و همکاران، ۲۰۱۱).

مزایا و معایب (فرصت‌ها و چالش‌ها)

۱- فرصت‌ها

پتانسیل مشارکت شهروندان و دانش آن‌ها اخیراً توجه بسیار زیادی به خود جلب کرده است. پیشرفت تکنولوژیکی جدید، روش‌های جدید و کارآمد برای جمع‌آوری و پردازش داده‌ها، زمینه را برای بحث در خصوص این فرصت‌ها در رشته‌های مختلف (بوم‌شناختی و هیدرولوژی و...) فراهم می‌کند. این فرصت‌ها و چالش‌ها به یکدیگر مرتبط هستند، به گونه‌ای که این فرصت‌ها و کشف به‌موقع و دقیق آن‌ها می‌تواند به بررسی و حل چالش در همه زمینه‌ها به‌خصوص در زمینه مدیریت منابع‌طبیعی (منابع آب) و در نهایت به‌کارگیری آن‌ها برای رفاه بشری بپردازد. بررسی‌ها در زمینه فن‌آوری نشان می‌دهد پتانسیل زیادی برای افزایش مشارکت شهروندان در جمع‌آوری داده‌ها در زمینه منابع آب به دلیل وجود سنسورهای ارزان، قوی و تمام اتوماتیک وجود دارد. علوم شهروندی می‌تواند تولید دانش سنتی را تکمیل کند و همچنین نوآوری، انطباق، ارائه اطلاعات چندرسانه‌ای، مدیریت ریسک و ایجاد انعطاف‌پذیری محلی را بهبود بخشد.

۲- محدودیت‌های کلی علم شهروندی

اگرچه علم شهروندی مزایای متعددی دارد و نقش بسیار مهمی در توسعه و تبادل دانش و اطلاعات ایفا می‌کند اما الزامات یا محدودیت‌هایی دارد که عبارتند از:

درک متخصصان و غیرمتخصصان-علم شهروندی در بسیاری از جوامع علمی همچنان یک اصطلاح نامعلوم است، اگر ارزش و اعتبار علم شهروندی مشخص نشود، چنین ابهاماتی ممکن است در نهایت، نوآوری آن را از بین ببرد (Potter وRiesch، ۲۰۱۴).

مهارت و آموزش نیروی کار-در علم شهروندی به دلیل انتخاب افراد مختلف (اعم از بی‌سواد و باسواد) علاوه‌بر پتانسیل افراد در جمع‌آوری اطلاعات، آموزش و هماهنگی بین آن‌ها امری بسیار مهم و کلیدی است (Gura، ۲۰۱۳).

فناوری-در حالی‌که تکنولوژی به سرعت در حال پیشرفت است، فناوری مبتنی بر علم شهروندان نیازمند تلاش بیشتر است. اطمینان از اینکه برنامه‌های کاربردی فن‌آوری مقرون‌به‌صرفه، قابل اطمینان، سازگار و همه‌جانبه باشد امری حیاتی است (Silvertown، ۲۰۰۹). با این حال، انتخاب فن‌آوری اگر درست باشد به توانمند ساختن جوامع محلی برای اتخاذ مسئولیت و ارائه راه‌حل برای چالش‌های پیش‌رو کمک می‌کند (Newman و همکاران، ۲۰۱۰).

ارتباط و تبادل دانش-نتایج علمی شهروندان باید به شیوه‌ای ارائه شود که به هیچ‌گونه دانش فنی برای تفسیر نیازی نباشد (Royem و همکاران، ۲۰۱۲). از طرفی دیگر اشتراک‌گذاری داده‌ها در سایت یا App مورد نظر باید به‌گونه‌ای باشد که هر شخص با گذرواژه مخصوص خود وارد شود (Seymour و Regalado، ۲۰۱۴).

نتیجه‌گیری

باتوجه‌به اهمیت منابع آب و مشکلات پیش‌رو در این زمینه، افزایش آگاهی شهروندان و مشارکت آن‌ها در مدیریت منابع آب اهمیت روزافزونی دارد. علم شهروندی و پروژه‌های شهروند-مبنا می‌تواند زمینه مشارکت شهروندان را فراهم کند و به همین دلیل در نقاط مختلف دنیا مورد توجه قرار گرفته است. در این مقاله به زمینه‌های مختلف و تحقیقات متعدد علم شهروندی در هیدرولوژی و منابع آب پرداخته

شد. به‌طورکلی نتایج نشان می‌دهد که علی‌رغم چالش‌های موجود، علم شهروندی می‌تواند مجموعه‌ای از داده‌های گسترده با پوشش مکانی و زمانی را ایجاد کند که برای مقاصدی نظیر ارزیابی مدل‌ها و پایش تغییرات حوضه‌های آبخیز بسیار مفید و ارزشمند است. باتوجه‌به پتانسیل علم شهروندی و با به‌کارگیری تکنولوژی‌های نوین از جمله تلفن‌های همراه هوشمند و اینترنت، می‌توان به جمع‌آوری داده‌های هیدرولوژیکی قابل اعتماد، به موقع و طولانی مدت دست یافت و در تصمیم‌گیری و مدیریت پایدار منابع آب استفاده نمود.

استفاده از رویکرد علم شهروندی و اجرای پروژه‌های شهروند-مبنا برای کشور ما که با معضلات زیادی در زمینه مدیریت منابع آب روبه‌روست می‌تواند بسیار مفید و مؤثر باشد. بررسی منابع بین‌المللی و داخلی نشان داد تاکنون کار علمی با این موضوع در کشور منتشر نشده است. بنابراین پیشنهاد می‌شود، پروژه‌های تحقیقاتی در این زمینه به‌صورت پایلوت در نقاط مختلف کشور اجرا شود. در این راستا، طراحی و ساخت ابزار و ادوات ساده و ارزان قیمت سنجش و پایش متغیرهای هیدرولوژیک و طراحی و ترویج نرم‌افزارهای فارسی ساده و قابل نصب برروی گوشی‌های همراه برای ثبت داده‌ها توسط شهروندان، حائز اهمیت است. همچنین، آگاهی‌بخشی و ظرفیت‌سازی در مدیران و کارشناسان بخش اجرا در خصوص مزایا و فرصت‌های استفاده از علم شهروندی به‌عنوان یک رویکرد مؤثر و کارا برای پایش و جمع‌آوری داده و اطلاعات متغیرهای هیدرولوژیک، توصیه می‌شود.

پی‌نوشت

1- Citizen science: https://en.wikipedia.org/wiki/Citizen_science

منابع

Afshinnekoo E., Ahsanuddin S. and Mason C.E., 2016. Globalizing and crowdsourcing biomedical research. British medical bulletin, 120(1): 27-33.

Bonney R., Ballard H., Jordan R., McCallie E., Phillips T., Shirk J. and Wilderman C.C., 2009. Public Participation in Scientific Research: Defining the Field and Assessing Its Potential for Informal Science Education. Center for Advancement of Informal Science Education (CAISE), 58p.

Bonney R., Cooper C. and Ballard H., 2016. The theory and practice of citizen science: Launching a new journal. Citizen Science: Theory and Practice, 1(1): 1-4.

Buytaert W., Dewulf A., De Bièvre B., Clark J. and Hannah D.M., 2016. Citizen science for water resources management: toward polycentric monitoring and governance? Journal of Water Resources Planning and Management, 142(4): 1-4.

Buytaert W., Zulkafli Z., Grainger S., Acosta L., Alemie T.C., Bastiaensen J., De Bièvre B., Bhusal J., Clark J., Dewulf A. and Foggin M. 2014. Citizen science in hydrology and water resources: opportunities for knowledge generation, ecosystem service management, and sustainable development. Frontiers in Earth Science, 2: 1-21.

Célleri R., Buytaert W., De Bièvre B., Tobón C., Crespo P., Molina J. and Feyen J. 2010. Understanding the hydrology of tropical Andean ecosystems through an Andean Network of Basins. IAHSAISH Publication, 336(30): 209-212.

Cohn J.P. 2008. Citizen science: Can volunteers do real research? BioScience, 58(3): 192-197.

CREATE Lab, Carnergie Mellon University. 2014. Waterbot. Available online at: http://waterbot.org/ (Accessed July 25 2014).

Crocker E., Condon B., Almsaeed A., Jarret B., Nelson C.D., Abbott A.G., Main D. and Staton M., 2020. TreeSnap: A citizen science app connecting tree enthusiasts and forest scientists. Plants, People, Planet, 2(1): 47-52.

Cunha D.G.F., Casali S.P., de Falco P.B., Thornhill I., Loiselle S.A. 2017. The contribution of volunteer-based monitoring data to the assessment of harmful phytoplankton blooms in Brazilian urban streams. Sci. Total Environ, 584(52): 586–594.

Danielsen F., Burgess N.D. and Balmford A. 2005. Monitoring matters: examining the potential of locally-based approaches. Biodiversity & Conser-

vironment, 568(15): 189-195.

Mishra A.K. and Coulibaly P., 2009. Developments in hydrometric network design: A review. Reviews of Geophysics, 47(2): 1-24.

Newman G., Zimmerman D., Crall A., Laituri M., Graham J. and Stapel L. 2010. User-friendly web mapping: lessons from a citizen science website. International Journal of Geographical Information Science, 24(12): 1851-1869.

Njue N., Kroese J.S., Gräf J., Jacobs S.R., Weeser B., Breuer L. and Rufino M.C. 2019. Citizen science in hydrological monitoring and ecosystem services management: State of the art and future prospects. Science of the Total Environment, 693(13): 1-18.

Ochoa-Tocachi B.F., Buytaert W., Antiporta J., Acosta L., Bardales J.D., Célleri R., Crespo P., Fuentes P., Gil-Ríos J., Guallpa M. and Llerena C. 2018. High-resolution hydrometeorological data from a network of headwater catchments in the tropical Andes. Scientific Data, 5: 1-16.

Overdevest C., Orr C.H. and Stepenuck K. 2004. Volunteer stream monitoring and local participation in natural resource issues. Human Ecology Review, 11(2): 177-185.

Pearson C.P. 1998. Changes to New Zealand's national hydrometric network in the 1990s. Journal of Hydrology New Zealand, 37(1): 1-17.

https://www.rand.org/pubs/tools/expertlens.html (visited 5 September 2020).

.Riesch H. and Potter C. 2014. Citizen science as seen by scientists: Methodological, epistemological and ethical dimensions. Public Understanding of Science, 23(1): 107-120.

Rinderer M., Kollegger A., Fischer B.M., Stähli M. and Seibert J. 2012. Sensing with boots and trousers—qualitative field observations of shallow soil moisture patterns. Hydrological Processes, 26(26): 4112-4120.

Rotman D., Hammock J., Preece J., Hansen D., Boston C., Bowser A. and He Y. 2014. Motivations affecting initial and long-term participation in citvation, 14(11): 2507-2542.

Del Savio L., Prainsack B. and Buyx A. 2016. Crowdsourcing the Human Gut. Is crowdsourcing also'citizen science'?. Journal of Science Communication, 15(3): 1-15.

Dickinson J.L., Shirk J., Bonter D., Bonney R., Crain R.L., Martin J., Phillips T. and Purcell K. 2012. The current state of citizen science as a tool for ecological research and public engagement. Frontiers in Ecology and the Environment, 10(6): 291-297.

Gallo T. and Waitt D. 2011. Creating a successful citizen science model to detect and report invasive species. BioScience, 61(6): 459-465.

Gura T. 2013. Citizen science: amateur experts. Nature, 496(7444): 259-261.

Hannah D.M., Demuth S., van Lanen H.A., Looser U., Prudhomme C., Rees G., Stahl K. and Tallaksen L.M. 2011. Large-scale river flow archives: importance, current status and future needs. Hydrological Processes, 25(7): 1191-1200.

Herschy R. 2009. Streamflow Measurements, 3rd Edn. London, UK: Taylor & Francis.

Hochachka W.M., Fink D., Hutchinson R.A., Sheldon D., Wong W.K. and Kelling S. 2012. Data-intensive science applied to broad-scale citizen science. Trends in Ecology & Evolution, 27(2): 130-137.

Lee V.1994. Volunteer monitoring: a brief history. The Volunteer Monitor, 6(1): 29-33.

Leeuw T. and Boss E. 2018. The hydrocolor app: Above water measurements of remote sensing reflectance and turbidity using a smartphone camera. Sensors, 18(1): 1-15.

Little K.E., Hayashi M. and Liang S.. 2016. Community-based groundwater monitoring network using a citizen-science approach. Groundwater, 54(3): 317-324.

Lowry C.S. and Fienen M.N. 2013. CrowdHydrology: crowdsourcing hydrologic data and engaging citizen scientists. Ground Water, 51(1): 151-156.

Michelsen N., Dirks H., Schulz S., Kempe S., Al-Saud M. and Schüth C. 2016. YouTube as a crowd-generated water level archive. Science of the Total En-

ies: an important emerging complement to clinical trials in the public health research ecosystem. Journal of Medical Internet Research, 14(2): 1-13.

Vos L.D., Leijnse H., Overeem A. and Uijlenhoet R. 2017. The potential of urban rainfall monitoring with crowdsourced automatic weather stations in Amsterdam. Hydrology and Earth System Sciences, 21(2): 765-777.

Weeser B., Kroese J.S., Jacobs S.R., Njue N., Kemboi Z., Ran A., Rufino M.C. and Breuer L. 2018. Citizen science pioneers in Kenya–A crowdsourced approach for hydrological monitoring. Science of The Total Environment, 631-632(5): 1590-1599.

Wiggins A. and Crowston K. 2011, January. From conservation to crowdsourcing: A typology of citizen science. Proceedings of the 44th Hawaii International Conference on System Sciences – 2011 in Kauai, Hawaii, USA, 1-10.

Williams M., Cornford D., Bastin L., Jones R. and Parker S. 2011. Automatic processing, quality assurance and serving of real-time weather data. Computers and Geosciences, 37(3): 353-362.

World Meteorological Organization, 1994. Guide to Hydrological Practices: Data Acquisition and Processing, Analysis, Forecasting and Other Applications. World Meteorological Organization.

izen science projects in three countries. iConference 2014 Proceedings in Berlin, Germany (Humboldt University Campus), 110-124.

Royem A.A., Mui C.K., Fuka D.R. and Walter M.T. 2012. Proposing a low-tech, affordable, accurate stream stage monitoring system. Transactions of the ASABE, 55(6): 2237-2242.

Saldivar J., Báez M., Rodriguez C., Convertino G. and Kowalik G. 2016, October. Idea Management Communities in the Wild: An Exploratory Study of 166 Online Communities. In2016 International Conference on Collaboration Technologies and Systems in Orlando Florida, USA (CTS). 81-89. IEEE.

Seymour V. and Regalado C., 2014. Extreme citizen science (excites): one end of the citizen science spectrum. In British Hydrological Society South East Section Meeting.

Silvertown J. 2009. A new dawn for citizen science. Trends in Ecology & Evolution, 24(9): 467-471.

Starkey E., Parkin G., Birkinshaw S., Large A., Quinn P. and Gibson C. 2017. Demonstrating the value of community-based ('citizen science') observations for catchment modelling and characterisation. Journal of Hydrology, 548(17): 801-817.

Swan M. 2012. Crowdsourced health research stud-