Warsaw University of Life Sciences

Institute of Environmental Engineering

Mohammadreza Einikarimkandi

Enhancing the accuracy of process-based and data-driven models for predicting drought

Poprawa dokładności predykcji suszy za pomocą modeli opartych na procesach i modeli opartych na danych

Doctoral thesis

Rozprawa doktorska

Doctoral thesis prepared under the supervision of

dr hab. Mikołaj Piniewski, prof. SGGW

Department of Hydrology, Meteorology and Water Management

Warsaw 2024

Abstract

This thesis explores the use of different agro-hydrological modelling methodologies to understand and predict various types of droughts, as well as river discharge and crop yields. The research hypothesis states that the accuracy of agro-hydrological modelling can be enhanced by utilizing multi-objective calibration approaches and input data from satellite-based datasets. The research underscores the complexity of hydrological phenomena and the need for comprehensive modelling techniques to capture this complexity accurately. The findings suggest that incorporating satellite-based soil moisture data can significantly enhance the accuracy of models such as the Soil and Water Assessment Tool+ (SWAT+). This is particularly evident in the transition from single-objective to multi-objective calibration approach, which not only improved the precision of river discharge simulations but also provided more reliable crop yield estimates. Additionally, this thesis uses a data-driven model (Artificial Neural Networks -ANN) to simulate river discharge, hydrological drought, and crop yields. We found that using drought indicators, such as the Standardized Precipitation Index, as the ANN inputs significantly improved its performance. These advancements in modelling techniques are crucial for regions with limited observed data and are essential for conducting studies on the impacts of climate change and model-based water accounting. The research highlights the challenges associated with satellite-based datasets, such as the PERSIANN products, which have limitations in runoff simulations. Careful dataset selection and calibration are necessary to ensure the reliability of hydrological models. The research also revealed the non-linear relationship between projected changes in climate variables and ANN outputs, which contrasts with process-based model, which suggests that ANNs may respond differently to environmental factors. Overall, the research provides valuable insights into the field of hydrology, and offers innovative methods to improve the accuracy of hydrological models. These methods can help manage water resources, inform agricultural practices, and improve our understanding of hydrological responses to climate variability and change. The findings emphasize the importance of using multiple indices and datasets to capture the complex nature of droughts and their diverse impacts on ecosystems and human societies.

Streszczenie

Celem niniejszej rozprawy jest badanie możliwości wykorzystania różnych technik modelowania agro-hydrologicznego w celu lepszego zrozumienia i prognozowania różnych typów susz, a także przepływów rzecznych i plonów roślin uprawnych. Hipoteza badawcza głosi, że dokładność modelowania agro-hydrologicznego można zwiększyć poprzez wykorzystanie wielokryterialnych podejść kalibracyjnych oraz danych wejściowych pochodzących ze zbiorów danych satelitarnych. Badania podkreślają złożoność zjawisk hydrologicznych i potrzebę kompleksowych technik modelowania w celu dokładnego uchwycenia tej złożoności. Wyniki sugerują, że uwzględnienie danych o wilgotności gleby pochodzących ze zdjęć satelitarnych może znacznie zwiększyć dokładność modeli takich jak Soil and Water Assessment Tool+ (SWAT+). Jest to szczególnie widoczne przy przejściu z jednokryterialnego do wielokryterialnego podejścia kalibracyjnego, które nie tylko poprawiło dokładność symulacji przepływów, ale także zapewniło bardziej wiarygodne szacunki plonów. Ponadto w niniejszej pracy wykorzystano model oparty na danych (sztuczne sieci neuronowe - ANN) do symulacji przepływów, suszy hydrologicznej i plonów. Stwierdzono, że wykorzystanie wskaźników suszy, takich jak znormalizowany wskaźnik opadów (SPI) jako danych wejściowych do modelu ANN w sposób istotny poprawiło dokładność tego modelu. Te postępy w technikach modelowania mają kluczowe znaczenie dla regionów o ograniczonych danych obserwacyjnych i są niezbędne do prowadzenia badań nad wpływem zmiany klimatu. Badania podkreślają wyzwania związane ze zbiorami danych satelitarnych, takimi jak produkty PERSIANN, które mają ograniczenia w symulacjach przepływu. Staranny dobór i kalibracja zbiorów danych są niezbędne do zapewnienia wiarygodności modeli hydrologicznych. Badania ujawniły również istnienie nieliniowego związku między projekcjami zmiennych klimatycznych a wynikami modelu ANN, co sugeruje, że odpowiedź modeli ANN na podobny sygnał zmian środowiskowych może być istotnie różna niż odpowiedź modeli opartych na procesach takich jak SWAT+. Przeprowadzone badania zapewniają cenny wgląd w dziedzinę hydrologii i oferują innowacyjne metody poprawy dokładności modeli hydrologicznych. Metody te mogą pomóc w zarządzaniu zasobami wodnymi, informowaniu o praktykach rolniczych i poprawie zrozumienia odpowiedzi hydrologicznej na zmienność i zmiany klimatu. Wyniki badań podkreślają znaczenie stosowania wielu wskaźników i zbiorów danych w celu uchwycenia złożonego charakteru susz i ich różnorodnego wpływu na ekosystemy i działalność człowieka.